



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

HLUKOVÁ DIAGNOSTIKA GENERÁTORU

NOISE GENERATOR DIAGNOSTICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Iveta Plucková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Iveta Plucková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloš Hammer, C Sc.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Hluková diagnostika generátoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jaderná elektrárna Dukovany je v ČR jedním z výrobců elektrické energie. K důležitým částem elektrárny patří generátor, který elektrickou energii vyrábí. Vzhledem k tomu, že je požadován spolehlivý provoz zařízení, je nutná k posouzení stavu generátoru technická diagnostika. Z technických diagnostik je v tomto případě využívána i diagnostika hluková. Zadání bakalářské práce je zaměřeno právě na uvedenou diagnostiku.

Cíle bakalářské práce:

Pojednejte obecně o hluku se zaměřením na veličiny a jejich měření.

Rozeberte měření hluku ve firmě ČEZ, a.s., Jaderná elektrárna Dukovany u vybraných generátorů.

Seznamte se s výsledky měření hluku profesionální firmou pro konkrétní generátor v uvedené firmě a výsledky rozeberte.

Realizujte několik praktických měření hluku u sledovaného generátoru a experiment vyhodnoťte.

Seznam doporučené literatury:

NOVÝ, Richard. Hluk a chvění. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995, 205 s. ISBN 80- 01- 01306-5.

BERAN, Vlastimil. Chvění a hluk. 1. Vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Vydavatelství, 2010.204 s. ISBN 978-801-7043-916-3-6.

ŽIARAN, Stanislav. Hluk a vibrácie. 1. vydání. Bratislava: Vydavateľstvo STU v Bratislave, 1992. 191 s. ISBN 80-227-0488-1.

ŽIARAN, Stanislav. Nizkofrekvenčný hluk a kmitanie. 1. vydání. Bratislava: Vydavateľstvo STU Bratislava, 2016, 316 s. EAN 9788022745369.

MIŠUN, Vojtěch: Vibration a hluk, Brno: PC-DIR Real s.r.o., 1998, 177 s. ISBN: 80-214-1262-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá hlukovou diagnostikou generátoru. Praktická část práce je realizována v Jaderne elektrárně Dukovany. V první části práce je obecně pojednáno o hluku. Jsou popsány veličiny hluku a jejich měření, zcela obecně, a i pro uvedenou firmu. Dle konkrétních podmínek ve firmě Jaderná elektrárna Dukovany je rozebráno měření hluku, které je realizováno externí firmou. V práci je uveden konkrétní příklad tohoto měření. V závěru práce je proveden popis praktického měření hluku u vybraného generátoru, které bylo studentkou provedeno pro potřeby této bakalářské práce. Experiment je vyhodnocen.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with noise diagnostics of the generator. The practical part of the thesis is realized in the Dukovany Nuclear Power Plant. The first part of the thesis, noise is generally discussed. The quantities and their measurements are described, quite generally, also for the given company. According to specific conditions in the Dukovany Nuclear Power Plant, there is a distribution of noise measurements, which is carried out by an external company. The work gives a concrete example of this measurement. At the end of the work, the practical measurements of noise were done for selected generators, which were realized by an author for the purposes of this bachelor thesis. The experiment is evaluated.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hluk, hluková diagnostika, generátor, akustické veličiny, měření hluku, jaderná elektrárna

KEYWORDS

Noise, noise diagnostics, generator, acoustic quantities, measurement of noise, nuclear power plant

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLUCKOVÁ, I. *Hluková diagnostika generátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 61 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloš Hammer, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala doc. Ing. Miloši Hammerovi, CSc. za cenné rady a odborné vedení při zpracování bakalářské práce. Děkuji také diagnostickému oddělení v Jaderné elektrárně Dukovany za asistenci při realizaci měření hluku. V neposlední řadě také děkuji své rodině a přítelovi za morální podporu během studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce doc. Ing. Miloše Hammera, CSc., a to s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Plucková Iveta

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	OBECNÉ POJEDNÁNÍ O HLUKU.....	17
2.1	Hluk.....	17
2.2	Veličiny a jejich měření	17
2.2.1	Akustické vlnění.....	17
2.2.2	Akustický tlak.....	18
2.2.3	Akustická rychlost.....	18
2.2.4	Rychlost šíření zvuku	19
2.2.5	Intenzita zvuku	19
2.2.6	Akustický výkon.....	19
3	ROZBOR MĚŘENÍ HLUKU V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ	
	DUKOVANY.....	21
3.1	Jaderná elektrárna.....	21
3.2	Popis generátoru.....	21
3.3	Rozbor měření	23
4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ HLUKU PROFESIONÁLNÍ FIRMOU	
	PRO KONKRÉTNÍ GENERÁTOR	25
5	REALIZACE PRAKTICKÝCH MĚŘENÍ HLUKU.....	27
5.1	Měření přístroje používaného při měření	27
5.1.1	ADASH A4400 VA4 PRO	27
5.1.2	Přesný integrační zvukoměr B&K 2236	27
5.2	Postup měření.....	28
5.2.1	Nastavení zvukoměru	28
5.2.2	Nastavení analyzátoru VA4.....	29
6	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	33
6.1	Protokol od externí firmy	33
6.2	Vlastní měření	39
7	ZÁVĚR.....	45
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	49
9.1	Seznam tabulek	49
9.2	Seznam obrázků	49
	PŘÍLOHA	51

1 ÚVOD

Pro rozvoj průmyslu je důležitá výroba elektrické energie. Elektrická energie se v ČR z velké části vyrábí v tepelných a vodních elektrárnách. Je však třeba podporovat výrobu elektrické energie v jaderných elektrárnách, což se v našem státě stále rozvíjí. Elektrická energie se v jaderných elektrárnách vyrábí v generátorech, které musí vykazovat značnou spolehlivost, a proto je důležité sledovat jejich provozní stav. K tomuto účelu se používá technická diagnostika, především různé diagnostické metody, ke kterým patří také hluková diagnostika.

Výše uvedené platí rovněž pro Jadernou elektrárnu Dukovany. V této elektrárně se provádí důsledná technická diagnostika, jako například vibrodiagnostika, elektrodiagnostika apod. Je rozvíjena i hluková diagnostika. V rámci možností si technickou diagnostiku uvedená elektrárna zajišťuje vlastními prostředky, ale v některých případech využívá externí firmy. Toto platí především pro hlukovou diagnostiku.

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na technickou diagnostiku vybraného generátoru v Jaderné elektrárně Dukovany. Součástí práce je pojednání o hluku, veličinách a jejich měření. Je provedeno seznámení s měřením hluku profesionální firmou pro konkrétní generátor v uvedené firmě a výsledky jsou rozebrány. Dle zadání je pro potřeby bakalářské práce studentkou realizováno praktické měření hluku a experiment je vyhodnocen.

2 OBECNÉ POJEDNÁNÍ O HLUKU

2.1 Hluk

Hluk lze formulovat jako zvuk, který má nežádoucí účinky na člověka. To platí zcela obecně. Hluk je obtížné často přesněji popsat, neboť je vnímán subjektivně každým člověkem jinak. Pro někoho může být daný zvuk nepříznivým hlukem, ale pro jiného příjemným a zábavným poslechem. Nežádoucí hluk může vést k zdravotním, psychickým, společenským a hospodářským následkům.

Zdrojem hluku může být jakýkoliv předmět nebo zařízení, ve kterém se tvoří akustická energie. Tato akustická energie se přenáší ze zdroje hluku do okolního prostředí. Hluk lze považovat za diagnostickou veličinu a popsat ji můžeme číselnou hodnotou. Hluk se může využívat jako významný zdroj informací o technickém stavu zařízení. V legislativě bylo například možné díky této vlastnosti vypracovat hygienické limity hluku [1], [2], [3].

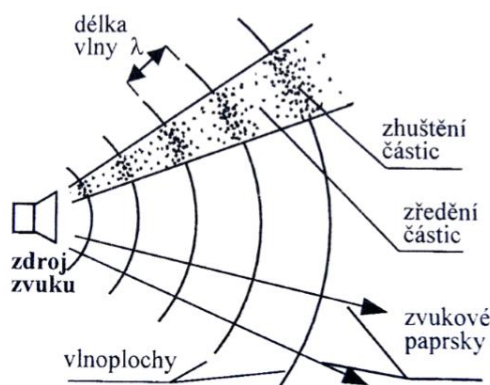
2.2 Veličiny a jejich měření

2.2.1 Akustické vlnění

Přítomnost hmotného prostředí je nutné pro vznik a šíření zvuku. V tomto prostředí se zvuk šíří formou akustického vlnění spojeného s přenosem energie. Vlnění lze rozdělit na šíření podélné nebo příčné. Během podélného šíření kmitají částice prostředí ve směru šíření vlny. Při příčném šíření kmitají částice prostředí kolmo ke směru šíření vlny. V případě, kde se všechny kmity dějí v jedné rovině, hovoříme o lineárně polarizovaném vlnění. S postupující akustickou vlnou se částice prostředí zhušťují a zředňují. Kmitají kolem svých rovnovážných poloh a zásadně se nepohybují se šířící se vlnou.

U kapalin a plynů se objevuje vlnění podélné, protože jsou tyto látky pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti. U pevných materiálů se objevuje vlnění podélné i příčné, neboť tyto materiály vykazují pružnost v tahu, tlaku, ale také ve smyku.

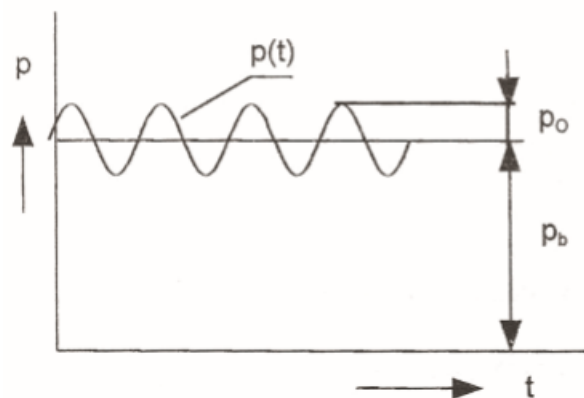
Akustické vlnění se šíří od zdroje hluku ve vlnoplochách ve směru zvukového paprsku a to tzv. rychlostí zvuku, což je naznačeno na Obr. 1. Na obrázku je také zmíněno zhuštění a zředění částic, i vlnová délka vlny. Vlnoplochy jsou plochy, mající ve všech bodech v dané časové chvíli stejné akustické veličiny. Na příslušnou vlnoplochu je vždy kolmý zvukový paprsek [1].



Obr. 1) Vlnění v pružném prostředí [4]

2.2.2 Akustický tlak

Akustický tlak p je základní měřitelnou veličinou v akustice. Je to složka zvuku, která závisí na okolním prostředí, na faktoru vzdáleností a schopnosti pohlcovat zvuk. V pružném prostředí, kde dochází k pohybu částic, nastává stav, kdy tyto částice jsou u sebe v seskupení. Při tomto stavu dochází k nárůstu tlaku. K poklesu tlaku dochází při větším rozptýlení částic - Obr. 2.



Obr. 2) Pohyb částic v prostředí [4]

Akustický tlak je skalární veličina, kterou lze změřit např. pomocí mikrofону. Základní jednotkou tohoto tlaku je pascal. Lidské ucho je schopno zachytit nejnižší akustický tlak pohybující se od $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (práh slyšitelnosti). K pocitu bolesti dochází při hodnotě $2 \cdot 10^2$ Pa, kdy jde o práh bolesti [2].

2.2.3 Akustická rychlost

Akustická rychlost v se také nazývá částicová rychlost. Je to rychlost, s jakou kmitají jednotlivé částičky prostředím za působení akustického tlaku. Směr pohybu je kolmý k ploše šířící se akustické vlny. Tato rychlost má směr a velikost, lze ji považovat za vektor. Akustická rychlost je jednou z nejdůležitějších akustických veličin a odlišujeme ji od rychlosti šíření zvuku, protože akustická rychlost je o mnoho řádů menší než rychlost šíření zvuku.

Výraz pro výpočet akustické rychlosti získáme provedením první parciální derivace výchylky kmitání podle času, což je ukázáno v následujícím vztahu [1]:

$$v = \frac{du}{dt} = \omega u_0 \cos \left[\omega \left(t \pm \frac{x}{c} \right) \right]$$

kde je: u okamžitá hodnota výchylky kmitání [m]

ωu_0 amplituda akustické výchylky [m]

t čas [s]

x odlehlost [m]

c rychlost šíření zvuku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

2.2.4 Rychlost šíření zvuku

Rychlosti šíření zvuku c se obecně říká rychlost zvuku a je nejčastěji udávána při teplotě 20 °C. Tato rychlost se šíří prostředím při narážení rozkmitaných částic do částic sousedících. Na rozdíl od akustické rychlosti, která uvažuje jen rychlost jednotlivých částic.

$$c = k \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

kde je: k konstanta [m]

E modul pružnosti prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \text{s}^{-2}$]

ρ hustota prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Pro vzduch při 20 °C je rychlost zvuku 343 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ [2].

2.2.5 Intenzita zvuku

Intenzita zvuku neboli akustická intenzita I je vektor popisující množství a směr toku akustické energie v uvažované oblasti. Vektor intenzity zvuku je časově průměrovaný součin okamžitého tlaku $p(t)$ a odpovídající okamžité rychlosti $v(t)$ [4]:

$$\vec{I} = p \cdot \vec{v}$$

kde je: I intenzita zvuku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

p okamžitý akustický tlak [P]

v okamžitá akustická rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

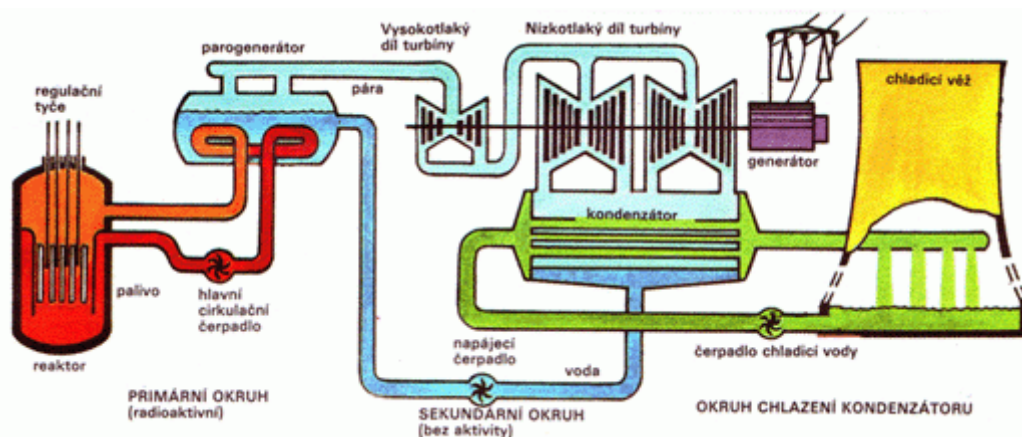
2.2.6 Akustický výkon

Určující veličinou pro daný zdroj je akustický výkon, je označován W , nebo P a jednotkou je watt. Nezávisí na vnějších podmínkách, ani na vlivech, které souvisí s pozorovatelem. Při hodnocení zdroje pomocí akustického tlaku může dojít ke zkreslení hodnot. Příčinou může být vliv orientace a vzdálenost posluchače od zdroje, pohyb posluchače nebo zdroje, teplota a rychlost proudění prostředí, odrazivost okolního prostředí. Na těchto vlivech akustický výkon je nezávislý, protože je fyzikální vlastností zdroje, a proto ho užíváme při srovnávání akustických zdrojů [2].

3 ROZBOR MĚŘENÍ HLUKU V JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ DUKOVANY

3.1 Jaderná elektrárna

Jaderná elektrárna se v některých částech podobá elektrárně tepelné. Od běžné tepelné elektrárny se odlišuje zdrojem tepla potřebného ke vzniku páry. U tepelné elektrárny vzniká teplo spalováním fosilního paliva, ale u jaderné elektrárny teplo vzniká štěpením uranu U^{235} v jaderném reaktoru. Pára, která vzniká, pohání turbínu a generátor vyrábí elektrickou energii. V mnoha zemích světa se dnes jaderné elektrárny využívají, liší se často jak typem reaktorů, tak i konstrukčním a stavebním provedením. Česká republika má dvě jaderné elektrárny, a to v Temelíně a Dukovanech. Schéma jaderné elektrárny v obecném pojetí je na Obr. 3 [5].



Obr. 3) Schéma jaderné elektrárny [5]

V jaderném reaktoru probíhá řízené štěpení jader uranu na energii tepelnou. Vzniká velké množství tepelné energie, která je odváděna vodou primárního okruhu do tepelného výměníku (parogenerátoru). V parogenerátoru dochází k předání tepla do sekundárního okruhu z vody primárního okruhu. Sekundárním okruhem je pára vedena na turbínu, která se roztáčí. Turbína pohání generátor elektrické energie, kde se mechanická energie mění na energii elektrickou. Pára vycházející z turbíny kondenzuje v kondenzátoru na vodu, která se vrací do parogenerátoru. Dále je chlazená vodou terciálního okruhu, která poté proudí do chladičích věží, kde se ochlazuje [6].

3.2 Popis generátoru

Generátor je pevně spojen s rotorem turbíny, který umožňuje přeměnit mechanickou energii turbíny na energii elektrickou. Energie vyrobená v generátoru je výsledný produkt elektrárny, která je poté transformována na napětí a vyvedena do rozvodny. Poté je dodávána do přenosové elektrizační soustavy. Pohled na elektrárnu je na Obr. 4 a dále jsou uvedeny parametry generátoru [7], který byl vybrán pro potřeby zpracování předkládané bakalářské práce.

Parametry generátoru:

Výrobní blok:	1
Název zařízení:	GENERÁTOR (označení TG11)
Číslo zařízení:	1SP10G1M
Výrobní číslo:	051560
Výrobce:	BRUSH SEM s.r.o
Výrobní typ:	2H 6688/2-VH
Umístění:	STROJOVNA 1, kóta 9,6m
Provozovatel:	ČEZ, a.s., Jaderná elektrárna Dukovany
Napětí statoru:	15,75 kV
Proud statoru:	10 997 A
Výkon:	300 MVA
Otáčky:	3000 1/mm
Frekvence:	50 Hz
Účinník:	0,85
Zapojení vinutí:	Y



Obr. 4) Pohled na interiér elektrárny [8]

3.3 Rozbor měření

Při zjišťování veličin hluku v Jaderné elektrárně Dukovany se vychází především ze dvou dokumentů, a to:

1. ČSN EN 61063 Akustika – Měření hluku šířeného vzduchem, vyzařovaného parními turbínami a jimi poháněnými stroji
2. Technologický postup TSE/HLUK/14 – Monitorování hluku točivých strojů

V následujícím textu budou tyto dokumenty stručně popsány, a to pouze v rozsahu potřebném k zpracování této bakalářské práce.

1. ČSN EN 61063 je mezinárodní norma, stanovuje potřebné a nutné informace k popisu metody měření hluku vyzařovaného parními turbínami včetně jimi poháněných strojů, pracujících za ustálených provozních podmínkách. Výsledky jsou vyjádřeny hladinami akustického tlaku a hladinami akustického výkonu.

V normě jsou nejprve uvedeny některé definice např. definice hladiny akustického tlaku. Hladina akustického tlaku L_p [dB]: dvacetinásobek dekadického logaritmu poměru akustického tlaku k referenčnímu akustickému tlaku.

V dalším textu normy je popsáno akustické prostředí. V dokonalém zkušebním prostředí by neměly být žádné odrazivé předměty, takže zdroj hluku vyzařuje ve volném poli na odrazivou rovinou.

Následně jsou v normě popsány přístroje, a to včetně jejich kalibrace.

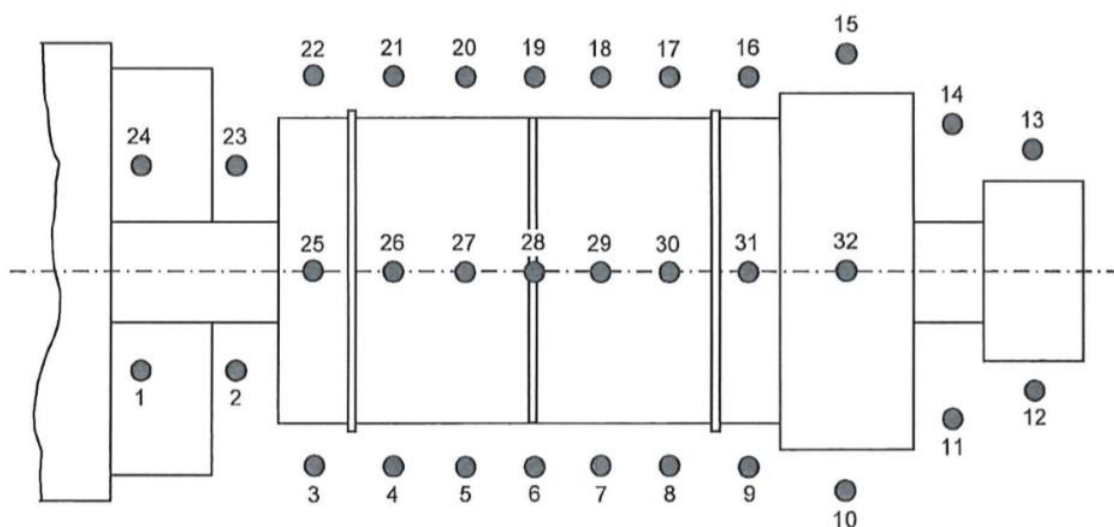
Za nejdůležitější lze v normě považovat měření hladin akustického tlaku, a to především typické uspořádání poloh mikrofону. V normě je náčrtek rozmístění jednotlivých mikrofónů, pro naše potřeby je důležité rozmístění mikrofónu pro generátor, konkrétní podrobnosti jsou v dokumentu TSE/HLUK/14 [9].

2. V dokumentu TSE/HLUK/14 jsou uvedeny základní pojmy a zkratky. Je definována diagnostika, generátor, hluk elektrických strojů a podobně. Celkově se jedná o rozsáhlý dokument zaměřený na vysokonapětové točivé elektrické stroje. Za důležité lze považovat kapitolu zaměřenou na provedení měření hluku [10].

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ HLUKU PROFESIONÁLNÍ FIRMOU PRO KONKRÉTNÍ GENERÁTOR

Pro potřeby bakalářské práce byl poskytnut Protokol o zkoušce č.: VYZ-1856Z-000601A ze dne 3. 5. 2018 z měření hluku generátoru turbosoustrojí s označením TG11, které bylo provedeno v Jaderné elektrárně Dukovany zkušební laboratoři č. 1047, která je akreditovaná podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005. Obsahem protokolu je zkouška hlučnosti – měření akustického tlaku. Protokol o zkoušce (kopie originálu) je uvedený v příloze na konci práce.

Pro generátor TG 11 bylo provedeno dle protokolu měření hluku dle skutečností z bodu 3.3 (ČSN EN 61063 a Technologického postupu TSE/HLUK/14). Měření bylo prováděno v měřicích bodech označených čísly 1-32 umístěných podle schématu na Obr. 5.



Obr. 5) Umístění měřicích bodů [11]

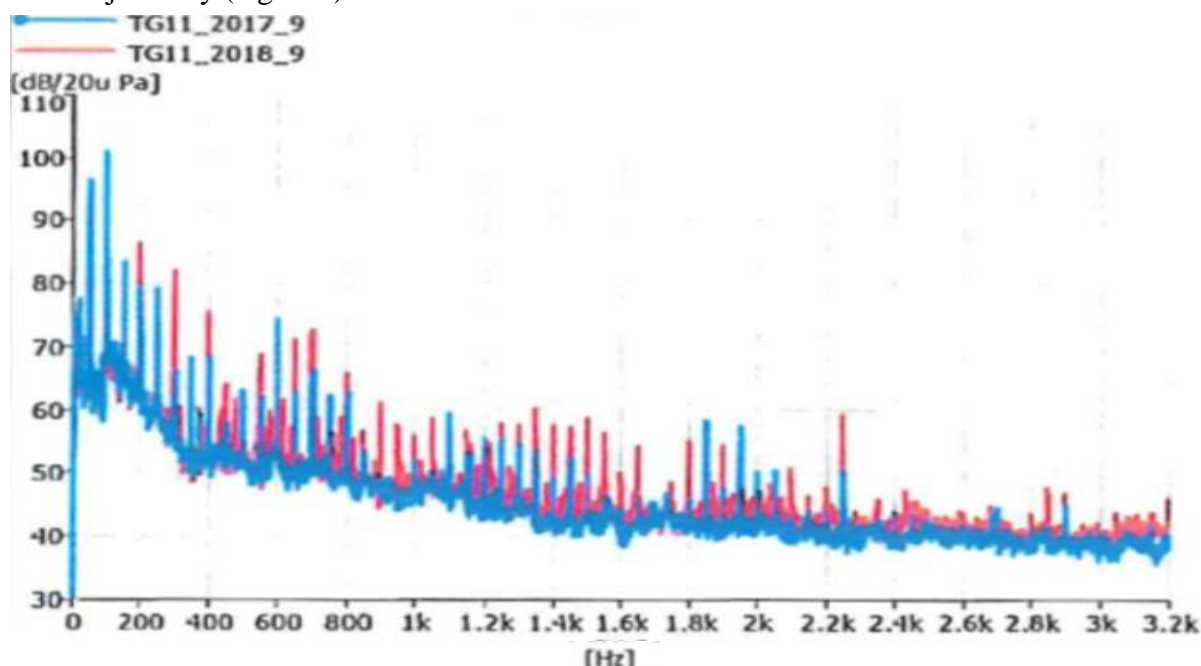
Mikrofon byl v místech 1-24 umístěn ve výšce 1,5 m nad provozní podlahou generátoru a ve vzdálenosti $d = 0,3$ m od zařízení pod kompletním zvukoizolačním krytem. Podélná osa mikrofону byla směřována vždy kolmo k povrchu referenční obalové plochy, v bodech 1 a 24 kolmo k zadní stěně NT dílu turbíny. O ostatních bodech v protokolu není zmínka.

Při měření byly použity následující přístroje a zařízení: mikrofon, 4189, 3099820, 8012-OL-10481-17 s kulovým krytem proto větru, UA 1650; ruční analyzátor, 2270, 3012019, 8012-OL-10479-14; akustický kalibrátor, 4230, 432197, 8012-KL-10324-17. Dále byl použit anometr Testo T410-2, 38559985/512, 934/16, 935/16 a 936/16 a svinovací metr – 10 m, 33-443, VYZ-1655-0670-01A.

V protokolu jsou následně uvedeny výsledky zkoušek, hodnoty jsou dále uvedené v Tab. 1. Jedná se o vážené hladiny akustického tlaku $A L_{pA}$ [dB] a hladiny akustického tlaku L_p [dB] v měřicích bodech 1–32 ve vzdálenosti $d = 0,3$ m od generátoru spolu s hladinami akustického tlaku z předchozích měření při provozním stavu.

Je zde uveden i provozní výkon generátoru P , jalový výkon Q a otáčky generátoru a rovněž jsou uvedeny i některé elektrické veličiny, jako např. napětí a proud generátoru a podobné veličiny pro budič. Externí firma tyto elektrické veličiny důsledně uvádí, neboť hluk může být s těmito veličinami úzce spojen.

V protokolu jsou dále uvedeny pro jednotlivá měření spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW. Ukázka spektra z místa 9 je na Obr. 6., a to pro měření pro dva po sobě následující roky (legenda).



Obr. 6) Ukázka spektra akustického tlaku v místě 9 [11]

Poslední částí protokolu o zkoušce je odborné stanovisko a jeho interpretace.

Hladiny akustického tlaku A jsou $L_{pA} = (84 \div 97,9)$ dB a hladiny akustického tlaku $L_p = (94,7 \div 15,7)$ dB pro výkonovou hladinu $P = 239$ MW.

Při předchozím garančním měření TG11 provedeného dne 27. 5. 2017 v měřicích místech okolo generátoru byly hladiny $L_{pA} = (84,4 \div 95,2)$ dB a $L_p = (93,9 \div 104,4)$ dB.

V úzkopásmovým FFT spektrech hluku se vyskytuje velké množství výrazných harmonických složek základní frekvence $f = 50$ a 100 Hz.

Spektra při obou diagnostických měření jsou podobná. Patrný pokles úrovně jednotlivých harmonických složek je v místech $25 \div 32$ a v místech $3 \div 9$ jsou zaznamenány vyšší úrovně harmonických složek [11].

27

Zvukoměr měří v následujících parametrech, uvedeno ve zkratkách – takto se používá v přístroji:

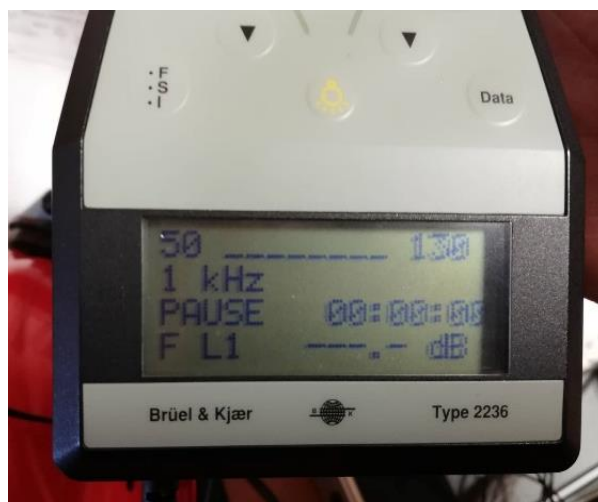
- MaxL: maximální hladina zvuku od posledního nulování,
- MinL: minimální hladina zvuku od posledního nulování,
- MaxP: maximální špičková hladina od posledního nulování,
- Peak: maximální špičková hladina v intervalu 1 s,
- SPL: maximální efektivní hladina v intervalu 1 s,
- leq: ekvivalentní trvalá hladina zvuku,
- LIm: ekvivalentní trvalá impulzní hladina zvuku (s časovým vážením I),
- SEL: hladina zvukové expozice,
- TEL: impulzní hladina zvukové expozice (s časovým vážením I),
- LEPd: denní hladina osobní expozice hluku,
- L95: efektivní hladina překračující 95% doby měření,
- L5: efektivní hladina překračující 5% doby měření,
- OVL: vstupní signál, který přebudí vstup přístroje. [14]

5.2 Postup měření

Měření probíhalo v Jaderné elektrárně Dukovany na generátoru s označením TG11. Pro měření bylo použito sestavy dvou přístrojů, které jsou uvedené v kapitole 5.1. Přesný integrační zvukoměr 2236 sloužil jen jako mikrofon. Záznam z tohoto přístroje byl nahrán do analyzátoru ADASH VA4 PRO a zde následně vyhodnocen.

5.2.1 Nastavení zvukoměru

První nastavovanou hodnotou na přístroji byl měřicí rozsah uváděný v decibelech (dB), který zachycoval hluk v rozmezí od 50 dB do 130 dB. Nastavené hodnoty jsou zobrazeny na prvním řádku displeje měřicího přístroje. Dále byl nastaven frekvenční rozsah 1 kHz. Třetí nastavenou hodnotou na přístroji, zobrazenou na čtvrtém řádku, bylo časové vážení pro normální měření značené písmenem F (fast), znamenající časovou konstantu 125 ms pro krátkodobě časově proměnné hluky. Na stejném řádku je i kmitočtové vážení, které je značeno L1 – určování „nevážené“ hladiny zvuku. Displej zvukoměru je zobrazen na Obr. 9.

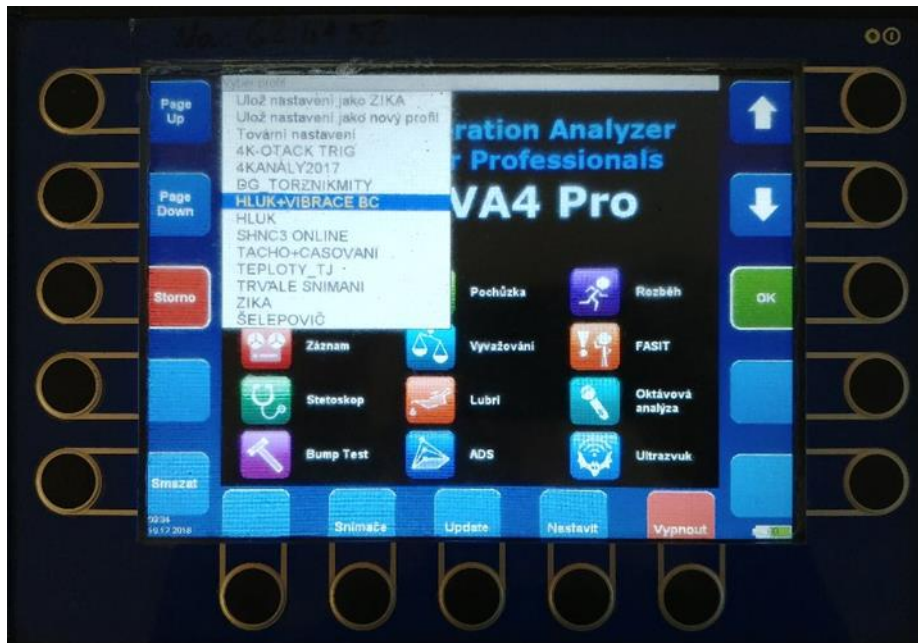


Obr. 9) Displej zvukoměru

5.2.2 Nastavení analyzátoru VA4

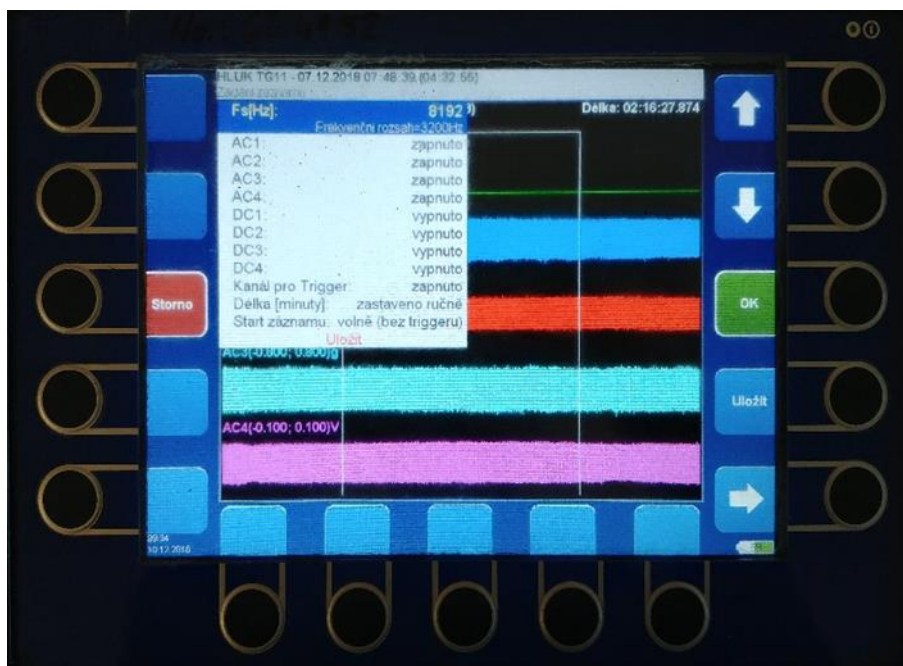
Pomocí analyzátoru ADASH VA4 PRO byl proveden záznam vibrací třísým snímačem a zvukový záznam.

- I. Bylo nutné zvolit profil pro měření HLUK+VIBRACE přes ikonu ZÁZNAM, viditelné na Obr. 10.



Obr. 10) Výběr profilu

- II. Přes NASTAVENÍ byl upraven PROFIL měření. Frekvenční rozsah byl zvolen 3200 Hz – Obr.11. Dále byly postupně zapínané jednotlivé AC (konektory = připojení snímačů).



Obr. 11) Frekvenční rozsah

- III. Pro měření vibrací byl použit konektor IN2, který byl nastaven pro tříosý snímač. To znamená, že bylo měřeno na prvních třech konektorech IN1-3. Pro měření hluku byl využit konektor IN4. Na Obr. 12 jsou vstupy do přístroje.



Obr. 12) Signálové a spouštěcí konektory [12]

- IV. Dále bylo potřeba nastavit jednotlivé citlivosti u tříosého snímače.

Nastavení konektoru AC 1 (Obr. 13):

ICP = zapnuto	nastavení napájení tříosého snímače přes VA4
Citlivost	93,8 mV/g (nastavení citlivosti kanálu)
Jednotka	g (kalibrační jednotka)



Obr. 13) Nastavení AC 1

U snímačů AC 2 a 3 byl postup nastavení stejný.

V. Nastavení konektoru AC 4:

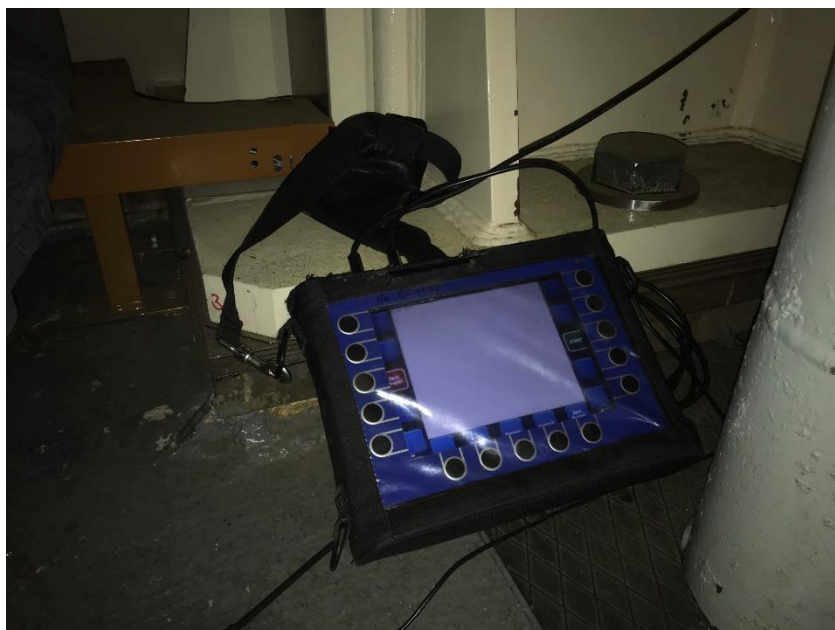
ICP = vypnuto	zvukoměr byl zapojen do zásuvky, není potřeba napájet z analyzátoru
Citlivost	1000 mV/V
Jednotka	V



Obr. 14) Nastavení AC 4

Po nastavení byl zvukoměr umístěn ke generátoru, na zem, na pozici 9 – Obr. 5, ve vzdálenosti, co nejdále od stroje, protože měření bylo omezeno protihlukovým krytem. Umístění přístrojů je na Obr. 15 a Obr. 16.

Zvukoměr byl propojen s přístrojem ADASH do 4. kanálu (1-3 se měřily vibrace na ložisku) a poté byl spuštěn záznam nahrávání dat ze senzoru a mikrofону. Měření bylo provedeno dne 7.12.2018 od 7:45 do 12:20 hod. Následně byl firmou poskytnut záznam z měření a pomocí programu VA4 virtual byla za spoluúčasti diagnostičky Jaderné elektrárny Dukovany provedena spektrální analýza hluku. Výsledky analýzy byly převedeny do logaritmické stupnice za účelem porovnání s měřením externí firmou. Podrobnosti jsou v kapitole 6.



Obr. 15) Umístění analyzátoru VA4



Obr. 16) Integrovaný zvukoměr v místě měření

6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

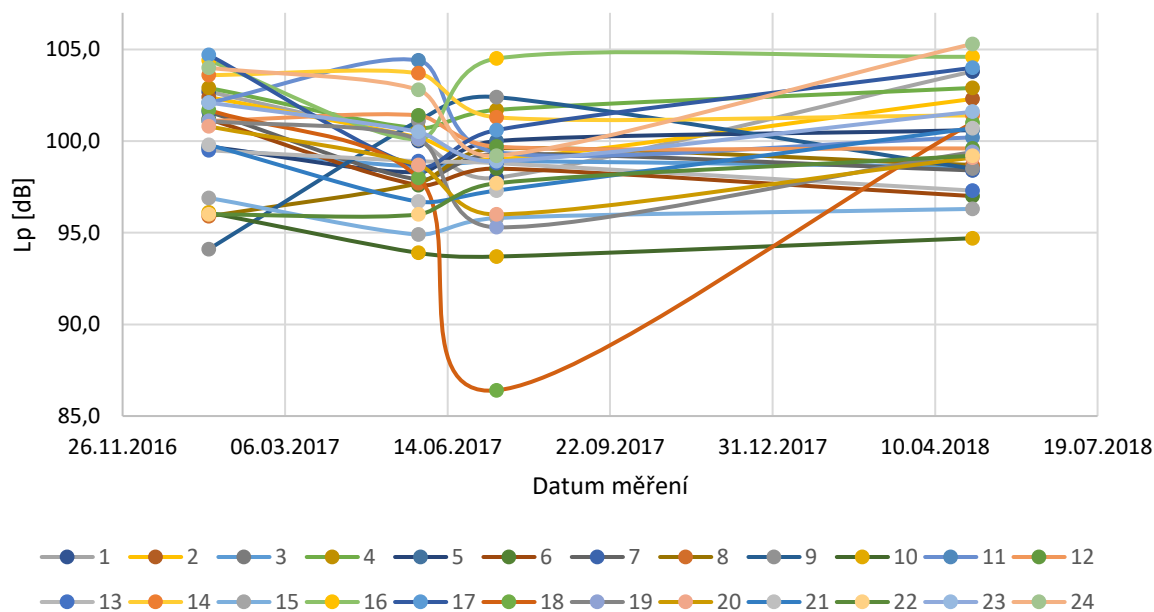
6.1 Protokol od externí firmy

Naměřené hodnoty externí firmou dle protokolu č. VYZ-1856Z-0006-01A jsou pro přehlednost přepsány do Tab. 1.

Tab 1) Naměřené hodnoty akustického tlaku

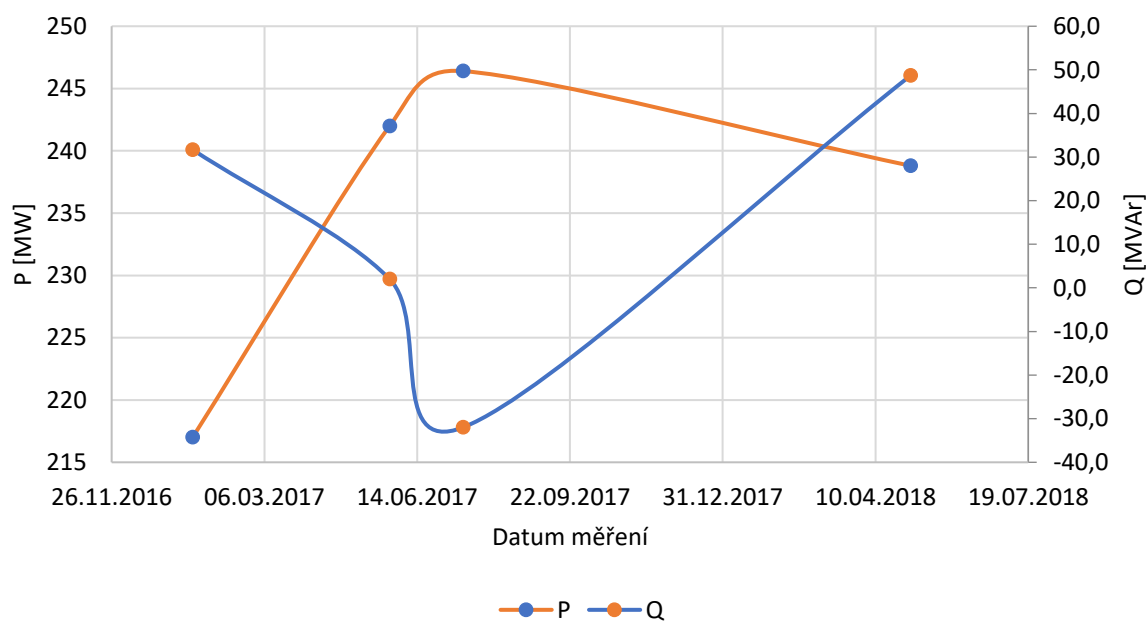
	18. 01. 2017		27. 05. 2017		14. 07. 2017		03. 05. 2018	
P [MW]	217		242		246,4		238,8	
Q [MVar]	31,7		2,0		-32,0		48,7	
	L _{pA} [dB]	L _p [dB]	L _{pA} [dB]	L _p [dB]	L _{pA} [dB]	L _p [dB]	L _{pA} [dB]	L _p [dB]
1	94,7	102,7	95,2	100,0	93,7	98,0	97,9	103,8
2	92,2	102,4	92,0	100,2	92,4	99,0	93,7	102,3
3	88,2	99,6	87,8	98,6	85,3	98,9	88,2	98,6
4	85,8	102,9	87,2	100,7	84,1	101,7	87,1	102,9
5	86,1	99,7	86,7	98,3	82,8	100,0	86,5	100,6
6	87,5	101,2	86,6	97,6	83,4	98,5	84,9	97,0
7	86,9	101,6	85,1	97,9	83,1	99,3	85,6	98,4
8	85,4	95,9	85,1	97,7	82,7	99,6	85,7	98,7
9	87,0	94,1	86,5	101,1	85,0	102,4	85,3	98,5
10	85,9	96,1	84,9	93,9	83,5	93,7	84,5	94,7
11	91,8	102,1	92,6	104,4	89,9	99,4	90,7	100,2
12	92,5	101,1	93,0	101,4	92,2	99,7	91,7	99,6
13	90,9	99,5	91,3	98,9	90,5	98,8	90,2	97,3
14	90,7	103,6	91,5	103,7	89,6	101,3	89,5	101,4
15	84,8	96,9	84,5	94,9	82,6	95,8	84,0	96,3
16	88,2	104,4	86,0	100,1	86,7	104,5	87,1	104,6
17	88,5	104,7	85,3	98,6	84,2	100,6	87,5	104,0
18	86,4	101,7	85,0	98,0	82,5	86,4	85,2	101,0
19	87,4	101,1	87,5	100,1	83,6	95,3	85,3	99,4
20	85,3	100,8	86,2	98,7	83,6	96,0	84,7	99,1
21	86,1	99,8	84,4	96,7	82,6	97,3	85,3	100,7
22	86,5	96,0	86,1	96,0	84,8	97,7	86,7	99,2
23	91,8	102,1	90,6	100,5	90,6	98,9	91,6	101,6
24	95,3	104,0	93,9	102,8	92,0	99,2	95,4	105,3
25	-	-	88,1	97,1	-	-	86,9	98,7
26	-	-	89,5	97,9	-	-	86,6	99,0
27	-	-	89,0	99,2	-	-	87,4	98,8
28	-	-	89,0	100,0	-	-	86,9	95,9
29	-	-	89,4	96,9	-	-	87,5	96,6
30	-	-	88,9	98,2	-	-	86,2	100,1
31	-	-	86,5	102,2	-	-	86,5	103,9
32	-	-	86,6	102,6	-	-	87,4	105,7

Graf na Obr. 17. zobrazuje měřící body 1-24 naměřené externí firmou v určitých časových intervalech. Body 25-32 byly zanedbány z důvodu, že ve dvou měření nebyly tyto body zaznamenány. Z předchozí tabulky je vidět, že naměřený hluk na generátoru TG11 byl zaznamenán v určitém časové období při určitém činném a jalovém výkonu. Dále je provedena analýza hodnot hladin hluku v závislosti na tomto činném a jalovém výkonu.



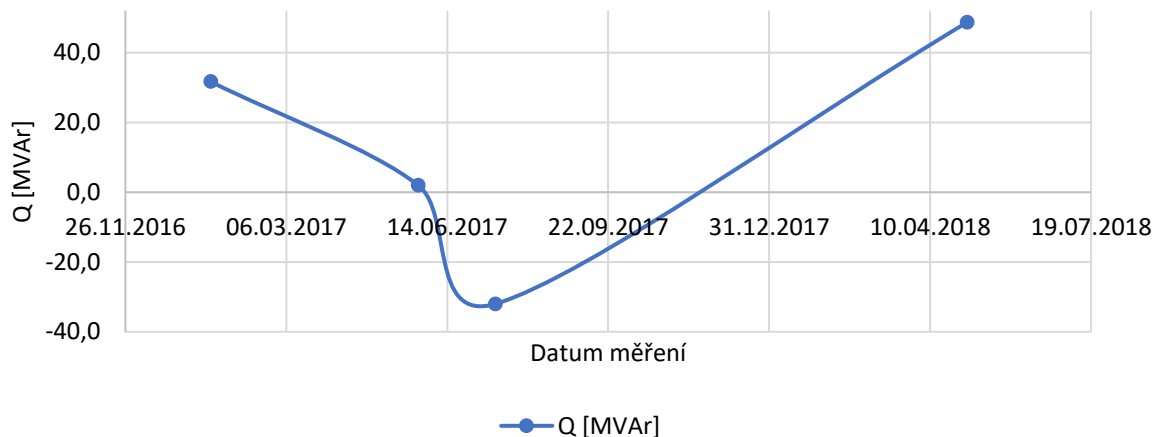
Obr. 17) Graf pro body 1-24

Trend jalového výkonu (jalový výkon závisí na buzení, kterým se reguluje účinník) značený písmenem Q a činného výkonu (výkon, který je dodáván do sítě) značený písmenem P je zobrazen na Obr. 18.

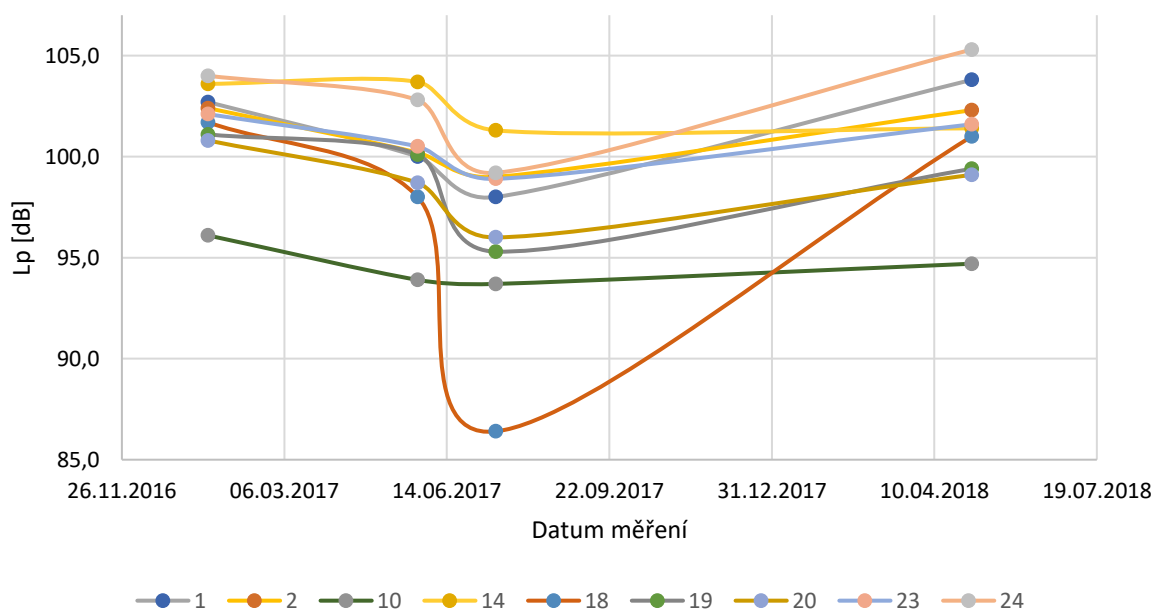


Obr. 18) Graf pro výkon činný (P) a jalový (Q)

V dalším grafu byla porovnána podobnost jednotlivých měřících bodů s jalovým výkonem (Obr. 19). Na Obr. 20 jsou body, které nejvíce odpovídají trendu jalového výkonu. Bude porovnána posloupnost naměřených hodnot hluku s trendem jalového výkonu. Při porovnání se vycházelo z podobnosti posloupnosti trendu z jednotlivých měření, které bylo porovnáno s trendem jalového výkonu.



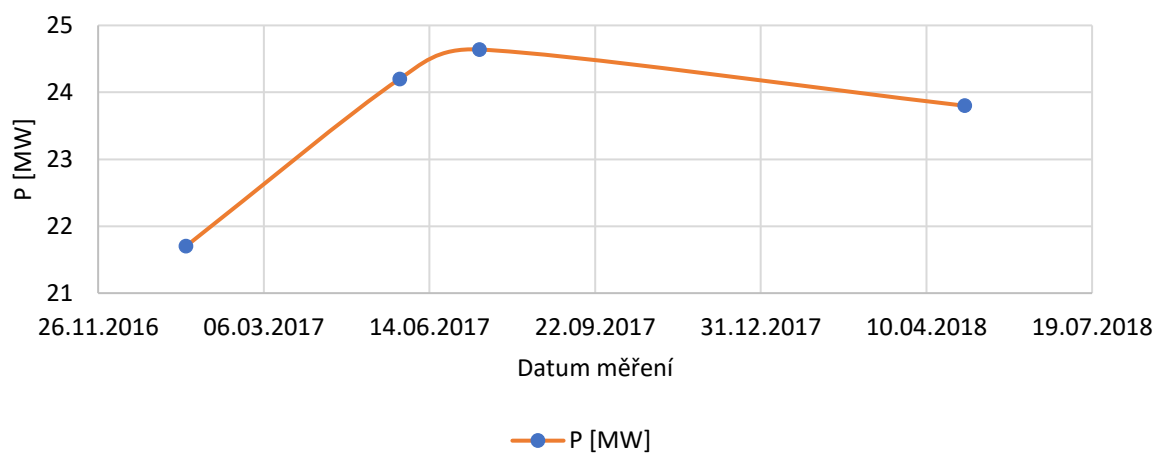
Obr. 19) Graf pro výkon jalový (Q)



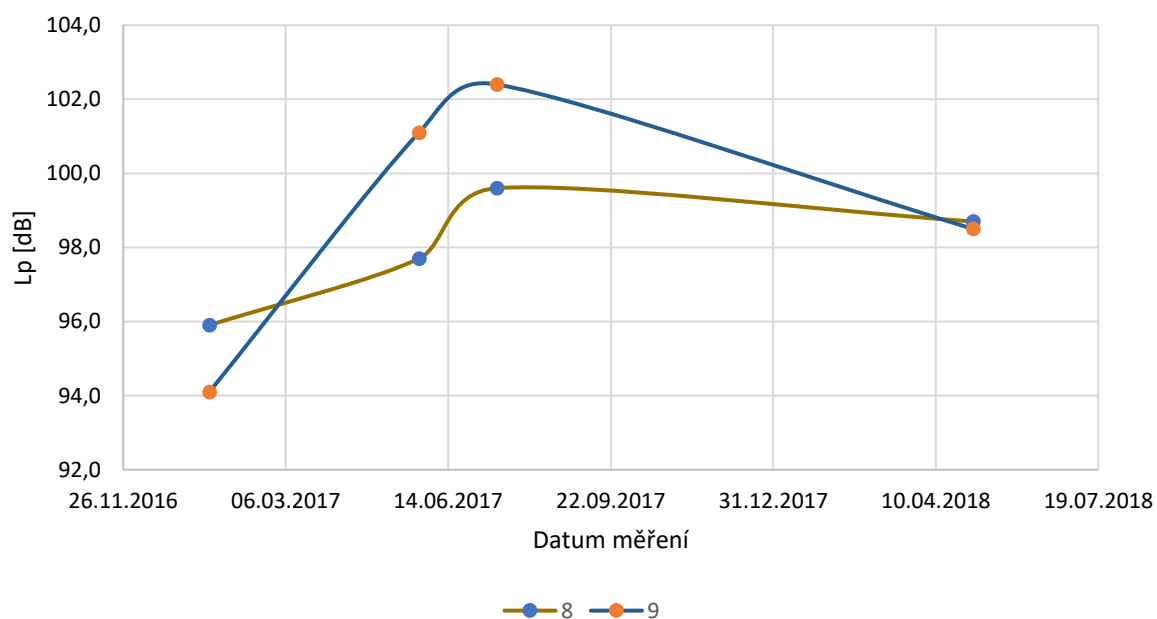
Obr. 20) Měřící body podobné jalovému výkonu

Bylo zjištěno, že trend neměřeného hluku v bodech 1, 2, 10, 14, 18, 19, 20, 23, 24 se přibližuje trendu jalového výkonu.

Dále byla porovnána podobnost jednotlivých měřících bodů s činným výkonem (Obr. 21). Na Obr. 22 jsou znázorněné měřící body odpovídající trendu činného výkonu. Při porovnání bylo postupováno stejným způsobem, jako u podobnosti s jalovým výkonem.

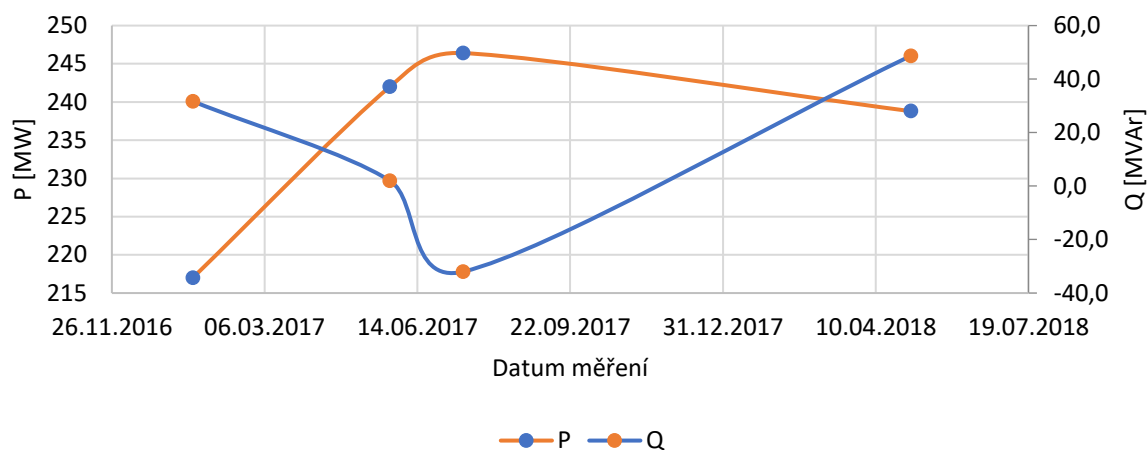


Obr. 21) Graf pro výkon činný (P))

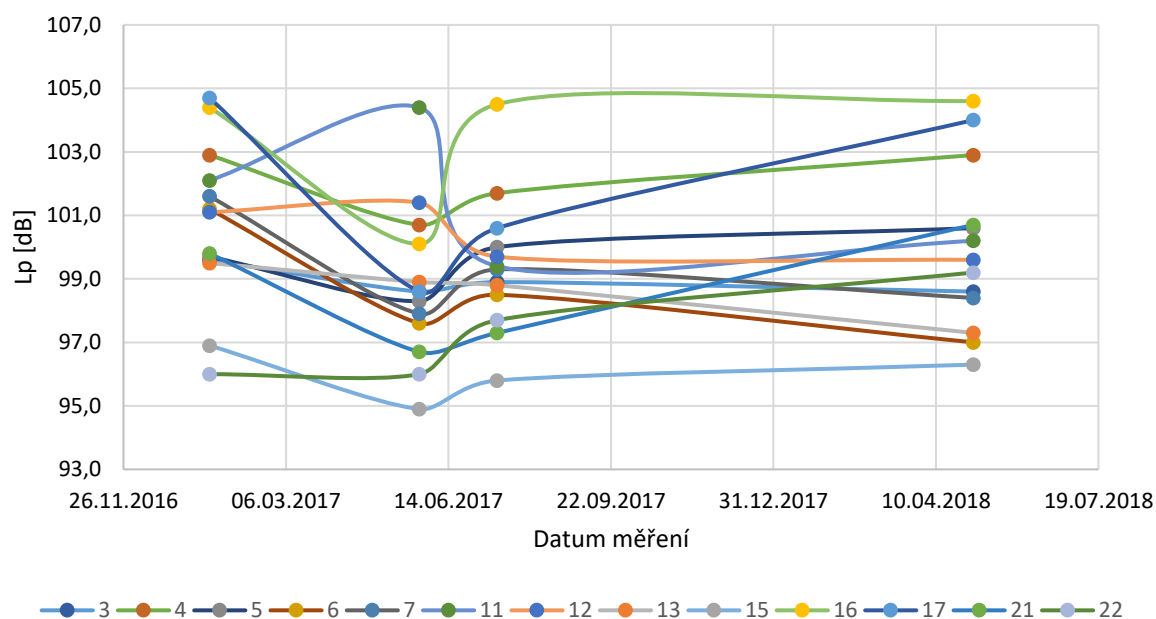


Obr. 22) Měřící body podobné činnému výkonu

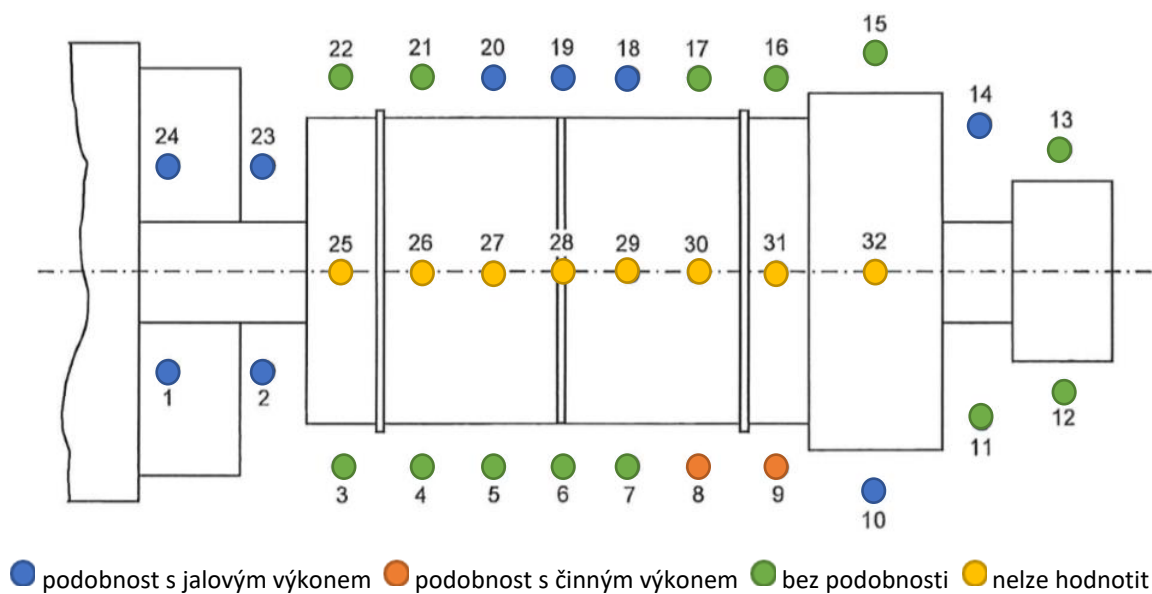
Měřicí body, které jsou tvarově odlišné od trendu jalového a činného (Obr. 23) výkonu, jsou znázorněné na Obr. 24. U těchto bodů je posloupnost různá než výkonů.



Obr. 23) Graf pro výkon činný (P) a jalový (Q)



Obr. 24) Tvarově odlišné body

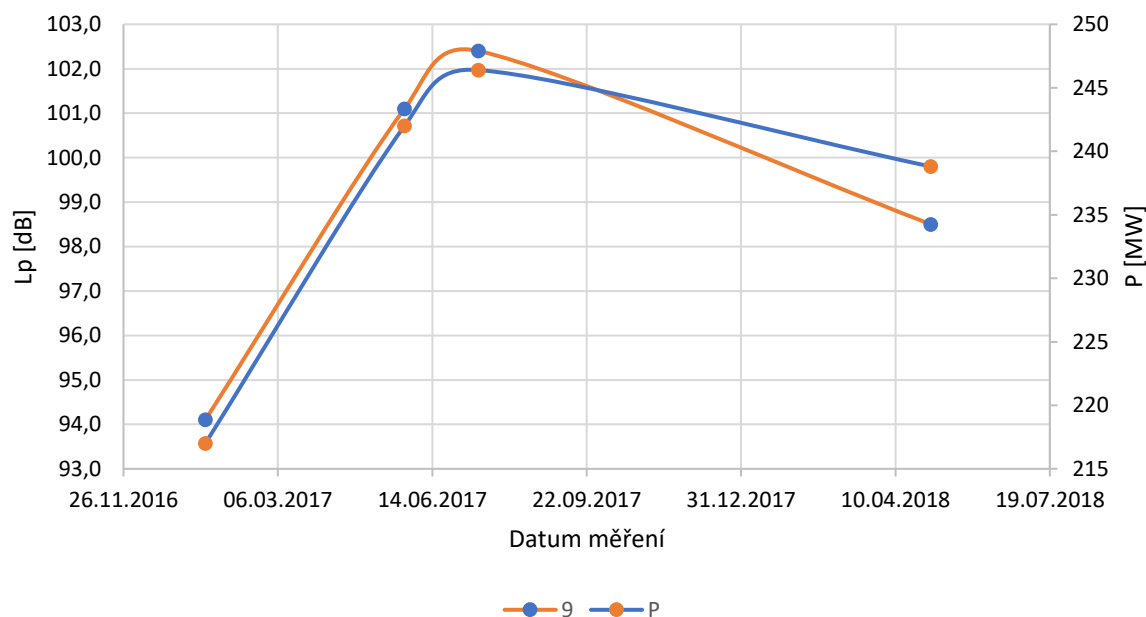


Obr. 25) Podobnost měřících bodů

Nejprve bylo porovnáno vyhodnocení trendu naměřených hodnot hluku s podobností trendu jalového a činného výkonu. Body 25 až 32 nebylo možné vyhodnotit, protože byly měřeny pouze dvakrát. Z vyznačení podobnosti hluku s výkony v měřících bodech (Obr.25) je zřejmé, že nejvíce byla podobnost s jalovým výkonem, kdy hluk vyzařoval ke straně turbíny a dále na levou stranu generátoru. Podobnost s činným výkonem se projevila pouze v bodech 8 a 9. Dále bylo více bodů, kde podobnost s výkony nebyla. Proto je měření z důvodu trendu, který má pouze čtyři měřící cykly, nevypovídající. Pro lepší vypovídající výsledek by se musely použít trendy z více měření a ty pak vyhodnotit.

6.2 Vlastní měření

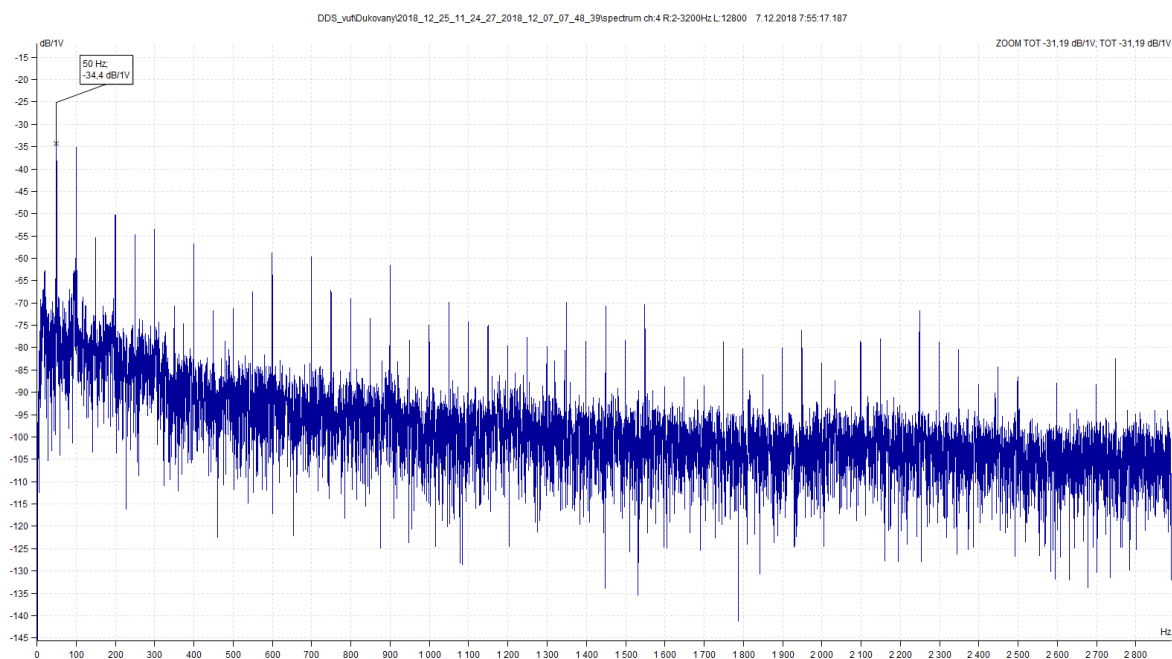
Byl porovnáván hluk trendu, měřené externí firmou v bodě 9, s trendem jalového a činného výkonu. Trend v bodě 9 odpovídá více trendu v závislosti činného výkonu (Obr. 26).



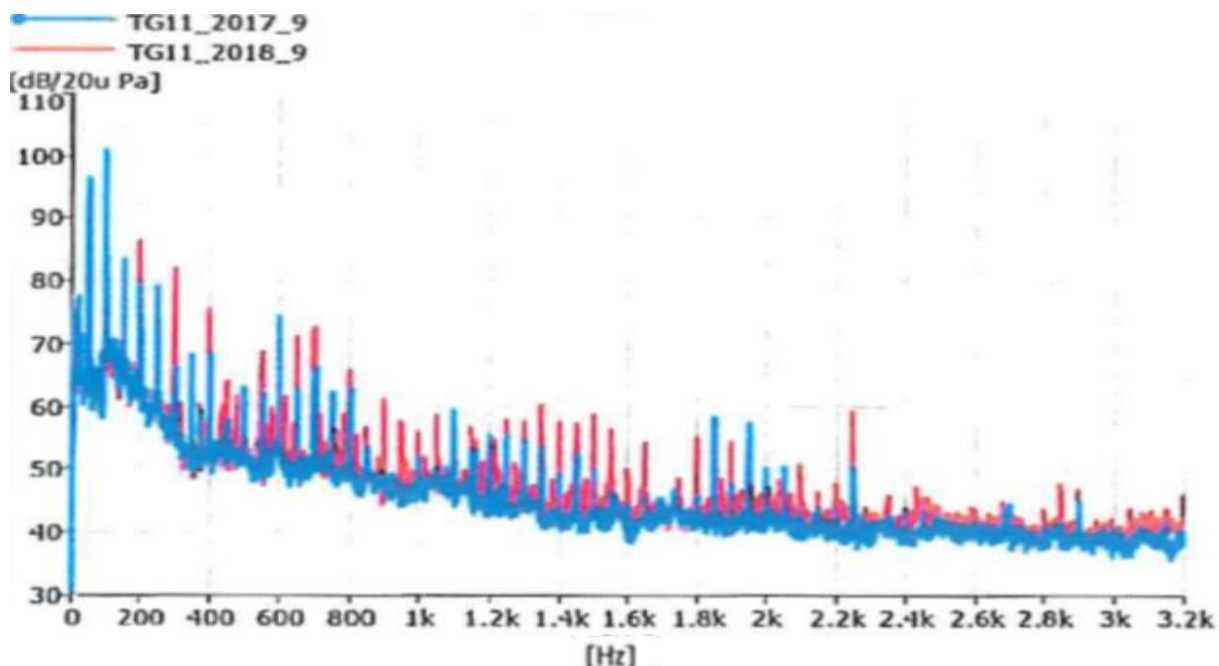
Obr. 26) Porovnání měřícího bodu 9 s činným výkonem

Byla provedena spektrální analýza analyzátozem značky ADASH VA4, kde byla zaznamenána pomocí FFT analýzy (rychlá Fourierova transformace) spektra měřeného hluku na kanálu 4. Je třeba podotknout, že se měřené místo úplně neshoduje s měřeným místem externí firmou. Externí firma měřila hluk v tomto bodě ve výšce 1,5 m experiment byl prováděn z důvodu délky kabelu v místě kotvení generátoru u podlahy (Obr. 16).

Na Obr. 27 je znázorněno spektrum vlastního měření z bodu 9, porovnávané s výsledky externí firmy zobrazené na Obr. 28. Výsledky měření z daného bodu jsou podobné.

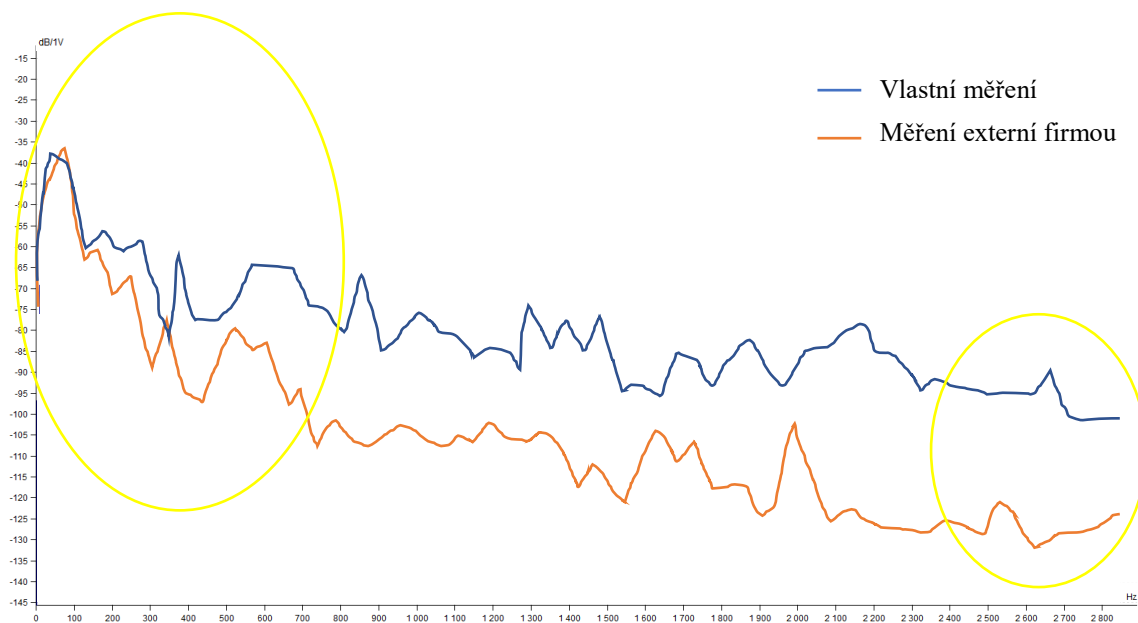


Obr. 27) Spektrum akustického tlaku vlastního měření



Obr. 28) Spektrum měřené externí firmou [11]

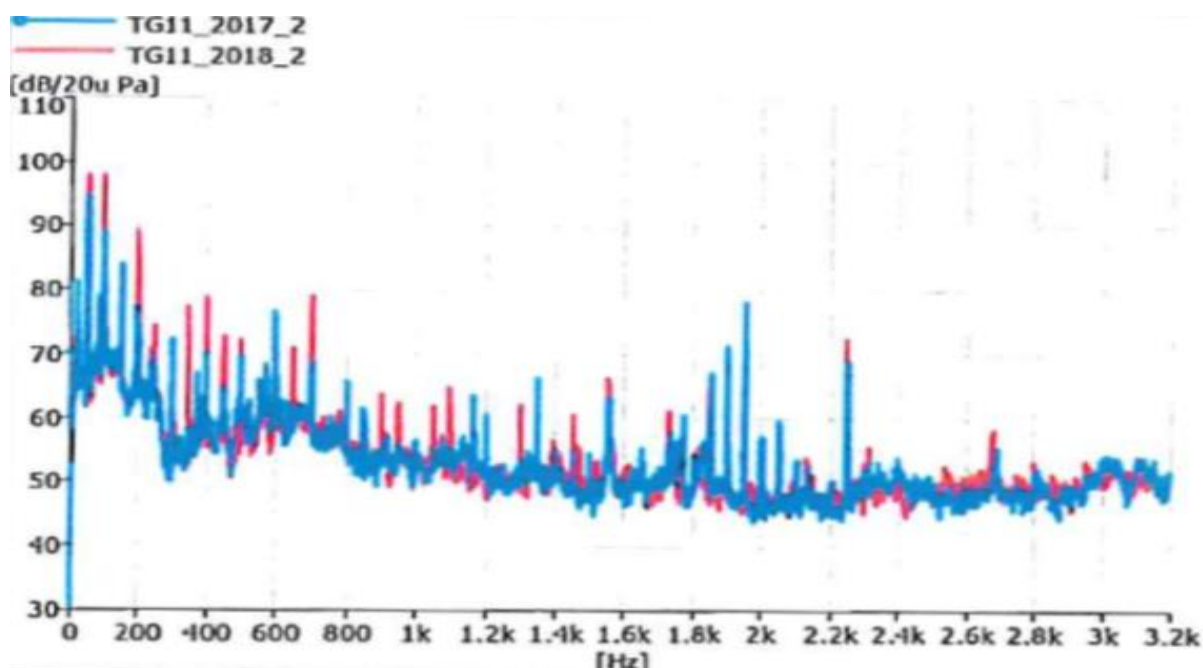
Dále byla pomocí obálek porovnávaná shoda průběhu z Obr. 27 a Obr. 28. Pro vybraná dvě spektra byla vytvořena obálka, která je znázorněna na Obr. 29. Průběh kontur obálek se liší, z důvodu hluku vnějšího okolí a diferencí mezi měřicími místy. Na označeném místě jsou si průběhy podobné.



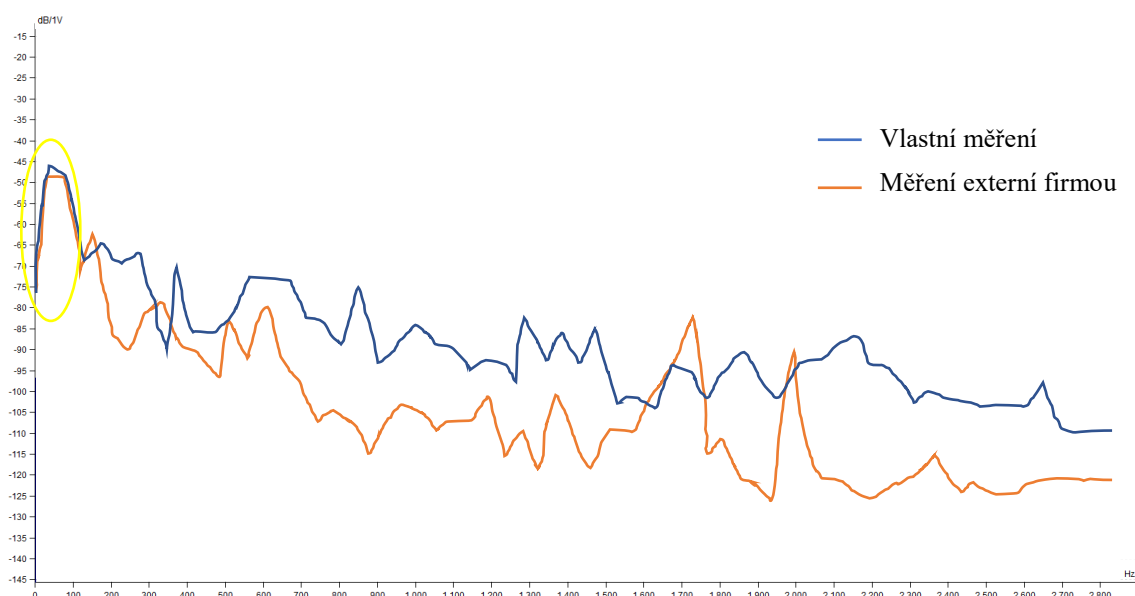
Obr. 29) Obálka

Následně byla vytvořena obálka pro porovnání pro dvě různá spektra, a to pro měřicí bod 2 a 23 (podle Obr. 5). Spektrum těchto bodů je znázorněno na Obr. 30 a Obr. 32. V obou obrázcích jsou uvedena měření externí firmou ve dvou po sobě následujících letech. Pro vyhodnocení se vždy brala hodnota největší špičky v průběhu.

Porovnání prvního vybraného spektra je zobrazeno na Obr. 31. V tom to obrázku jsou uvedeny průběhy pro měření externí firmou, které jsou porovnány s vlastním měření, které je uvedené výše. Průběh kontur se na většině míst liší z důvodu hluku vnějšího okolí a hluku vyzařovaného z generátoru. V některých místech si jsou podobná, tato místa jsou označena žlutě.

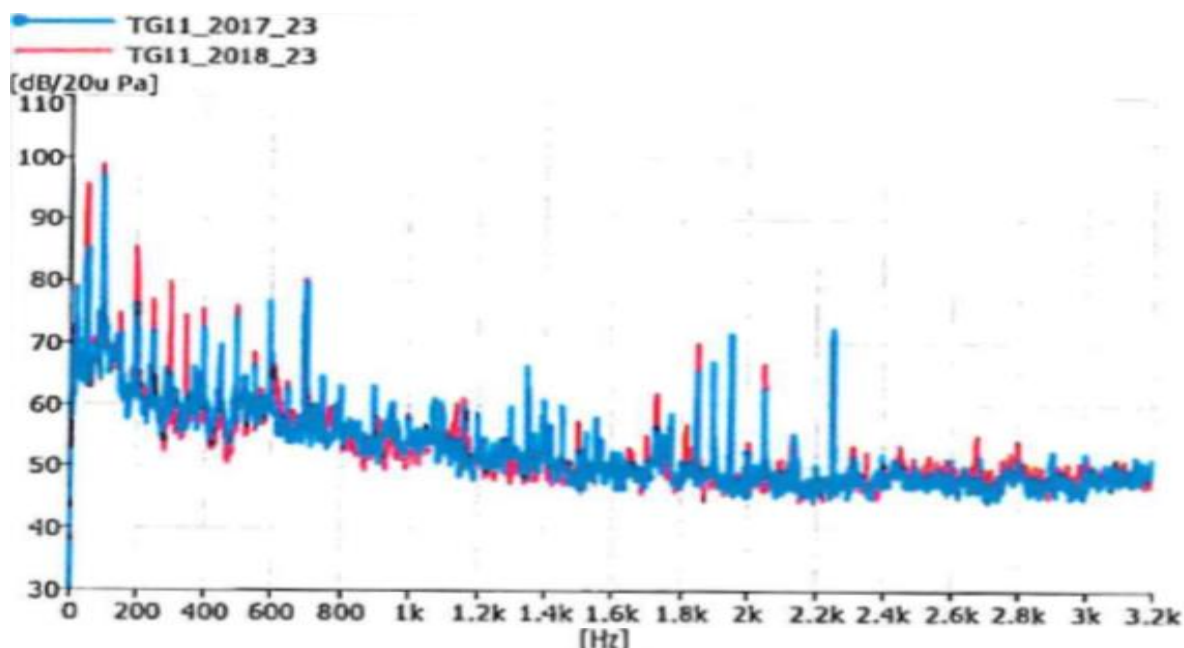


Obr. 30) Spektrum akustického tlaku v místě 2 [11]

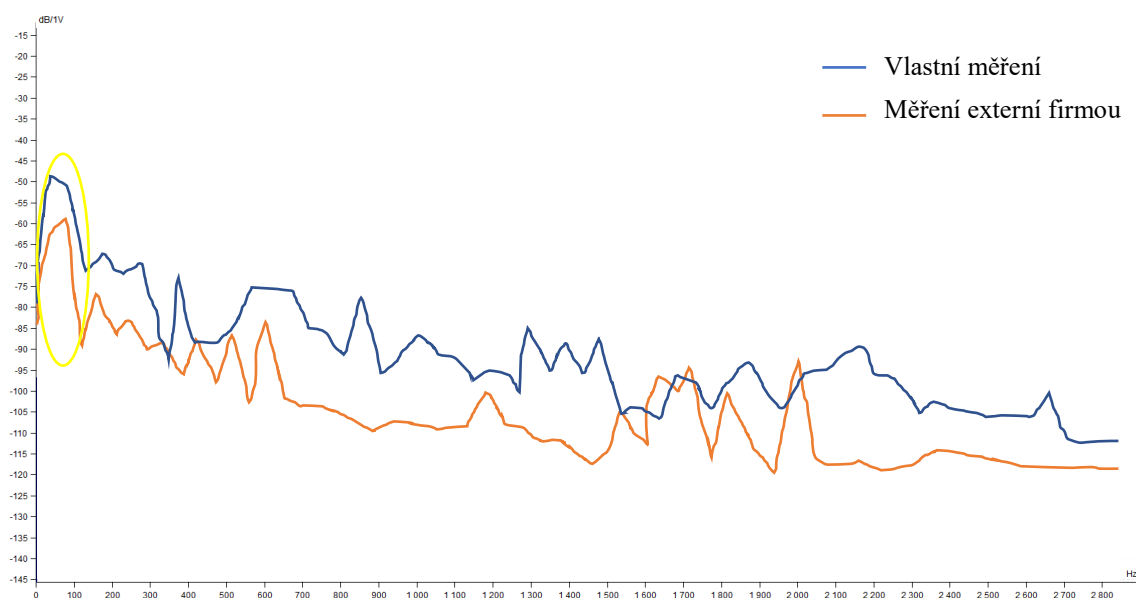


Obr. 31) Obálka

Porovnání druhého vybraného, a to měřicího bodu 23 je zobrazeno na Obr. 33. V tomto obrázku jsou uvedeny průběhy pro měření externí firmou, které jsou porovnány s vlastním měření, které je uvedené výše. Průběh kontur se na většině míst liší z důvodu hluku vnějšího okolí. V některých místech si jsou podobná, tato místa jsou označena žlutě.



Obr. 32) Spektrum akustického tlaku v místě 23 [11]



Obr. 33) Obálka

Z těchto dvou porovnání vyplývá, že vlastní měření v bodě 9 se nejvíce shoduje s měřením externí firmou v témže bodě.

7 ZÁVĚR

Předkládaná bakalářská práce byla zaměřena na důležitý technický problém, a to jeden ze způsobů zajištění spolehlivosti generátoru v elektrárnách. Jednalo se o využití hlukové diagnostiky. Praktická část bakalářské práce byla realizována v Jaderné elektrárně Dukovany.

V bakalářské práci bylo zcela obecně pojednáno o hluku se zaměřením na jeho veličiny a způsoby měření. Vzhledem k tomu, že v současné době hlukovou diagnostiku ve firmě Jaderná elektrárna Dukovany zajišťuje externí firma, bylo provedeno seznámení s protokolem získaným od této firmy. Výsledky uvedené v protokolu byly rozebrány a zhodnoceny. Pro bakalářskou práci byl ve firmě Jaderná elektrárna Dukovany realizován experiment zaměřený na praktické seznámení se s měřením hluku u vybraného generátoru a tento experiment byl vyhodnocen.

Zhodnocení výsledků uvedených v bakalářské práci vyplývá, že porovnáním naměřených hodnot hluku externí firmou s jalovým a činným proudem, lze přičíst největší podobnost hodnot hluku k jalovému proudu. Dále z provedeného experimentu je patrné, že i když nebylo měřeno v úplně stejném bodě jako měřila externí firma, je provedené měření v bodě 9 velice podobné měření externí firmou. Naopak provedené měření s ostatními body se více liší.

V překládané bakalářské práci byly stanovené cíle splněny.

Za přínosné lze považovat následující:

1. Seznámení se s měřením hluku u vybraného generátoru v Jaderné elektrárně Dukovany.
2. Seznámení se s protokolem z měření provedeného profesionální firmou a s výsledky tohoto měření.
3. Realizace konkrétního praktického měření hluku u sledovaného generátoru, příprava experimentu a jeho provedení.
4. Podrobné vyhodnocení experimentu podle bodu 3. výše, formulování závěrů.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [2] BERAN, Vlastimil. *Chvění a hluk*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-916-6.
- [3] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-158-6.
- [4] MIŠUN, Vojtěch. *Vibrace a hluk*. Vyd. 2., V Akademickém nakl. CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3060-5.
- [5] *Jaderná energie: jaderná elektrárna* [online]. 2004 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k33.htm>
- [6] *Jak funguje jaderná elektrárna* [online]. 2019 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/interaktivni-model-je-jak-funguje-jaderka.html>
- [7] BOHŮM, Pavel. *Vstupní školení do Jaderné elektrárny Dukovany*. 2018.
- [8] *Tepelné elektrárny* [online]. 2013 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=tepelne_elektrarny&site=energie
- [9] ČSN EN 61063 *Akustika – Měření hluku šířeného vzduchem, vyzařovaného parními turbínami a jimi poháněnými stroji*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [10] *Technologický postup TSE/HLUK/14 - Monitorování hluku točivých strojů*. b.r.
- [11] *Protokol o zkoušce č.: VYZ-1856Z-0006-01A*. Plzeň, 2018.
- [12] *Adash America A4400 Vibration Meter* [online]. b.r. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.tequipment.net/Adash-America/A4400/Vibration-Meter/>
- [13] *ADASH A4400 VA4 Pro - Portable Vibration Devices* [online]. b.r. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.environmental-expert.com/products/model-a4400-va4-pro-4-channel-vibration-analyzer-423837>
- [14] *The Brüel & Kjaer 2236 sound level meter*. 1996. Dostupné také z: https://www.atecorp.com/atecorp/media/pdfs/data-sheets/bruel-kjaer-2236_manual.pdf?ext=.pdf

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

9.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Naměřené hodnoty akustického tlaku	33
--------	--	----

9.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Vlnění v pružném prostředí [4]	17
Obr. 2)	Pohyb částic v prostředí [4]	18
Obr. 3)	Schéma jaderné elektrárny [5]	21
Obr. 4)	Pohled na interiér elektrárny [8]	22
Obr. 5)	Umístění měřících bodů [11]	25
Obr. 6)	Ukázka spektra akustického tlaku v místě 9 [11]	26
Obr. 7)	ADASH A4400 VA4 PRO [13]	27
Obr. 8)	Přesný integrační zvukoměr 2236	27
Obr. 9)	Displej zvukoměru	28
Obr. 10)	Výběr profilu	29
Obr. 11)	Frekvenční rozsah	29
Obr. 12)	Signálové a spouštěcí konektory [12]	30
Obr. 13)	Nastavení AC 1	30
Obr. 14)	Nastavení AC 4	31
Obr. 15)	Umístění analyzátoru VA4	32
Obr. 16)	Integrační zvukoměr v místě měření	32
Obr. 17)	Graf pro body 1-24	34
Obr. 18)	Graf pro výkon činný (P) a jalový (Q)	34
Obr. 19)	Graf pro výkon činný jalový (Q)	35
Obr. 20)	Měřící body podobné jalovému výkonu	35
Obr. 21)	Graf pro výkon činný (P)	36
Obr. 22)	Měřící body podobné činnému výkonu	36
Obr. 23)	Graf pro výkon činný (P) a jalový (Q)	37
Obr. 24)	Tvarově odlišné body	37
Obr. 25)	Podobnost měřících bodů	38
Obr. 26)	Porovnání měřícího bodu 9 s činným výkonem	39
Obr. 27)	Spektrum akustického tlaku vlastního měření	40
Obr. 28)	Spektrum měřené externí firmou [11]	40
Obr. 29)	Obálka	41

Obr. 30) Spektrum akustického tlaku v místě 2 [11]	42
Obr. 31) Obálka.....	42
Obr. 32) Spektrum akustického tlaku v místě 23 [11]	43
Obr. 33) Obálka.....	43

PŘÍLOHA



Zkušební laboratoř č. 1047 akreditovaná ČIA
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Protokol o zkoušce

č.: VYZ-1856Z-0006-01A

4. Použité přístroje a zařízení

Byly použity přístroje od firmy Brüel & Kjær (název, typ, výrobní číslo, číslo ověřovacího nebo kalibračního listu):
Mikrofon, 4189, 3099820, 8012-OL-10481-17 s kulovým krytem proti větru, UA 1650; ruční analyzátor, 2270, 3012019,
8012-OL-10479-17; akustický kalibrátor, 4230, 432197, 8012-KL-10324-17.
Dále byl použit anemometr Testo T410-2, 38559985/512, 934/16, 935/16 a 936/16 a svinovací metr – 10m, 33-443,
VYZ-1655-0670-01A.

5. Výsledky zkoušek

Vážené hladiny akustického tlaku L_{pA} , [dB] a hladiny akustického tlaku L_p , [dB] v měřicích bodech 1 + 32 ve vzdálenosti
 $d = 0,3$ m od generátoru spolu s hladinami akustického tlaku z předchozího měření při provozním stavu na výkonu jsou
uvedeny v tabulce Tab. 1.

Datum měření	TG11 – provozní stav		Hladiny akustického tlaku v měřicích místech, [dB]							
			1	2	3	4	5	6	7	8
16.1.2017	Provoz na výkonu – $P=217$ MW, $Q=31,7$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹	L_{pA}	94,7	92,2	88,2	85,8	86,1	87,5	86,9	85,4
		L_p	102,7	102,4	99,8	102,9	99,7	101,2	101,6	95,9
27.5.2017	$P=242$ MW, $Q=2$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $U_G=15140$ V, $I_G=9280$ A, $U_E=235$ V, $I_E=1808$ A	L_{pA}	95,2	92,0	87,8	87,2	86,7	86,6	85,1	85,1
		L_p	100,0	100,2	98,6	100,7	98,3	97,6	97,9	97,7
14.7.2017	$P=246,4$ MW, $Q=32$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $I_E=1770$ A	L_{pA}	93,7	92,4	85,3	84,1	82,8	83,4	83,1	82,7
		L_p	98,0	99,0	96,9	101,7	100,0	98,5	99,3	99,6
3.5.2018	$P=238,8$ MW, $Q=48,7$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,97$, $U_G=15930$ V, $I_G=8820$ A, $U_E=264$ V, $I_E=2010$ A	L_{pA}	97,9	93,7	88,2	87,1	86,5	84,9	85,6	85,7
		L_p	103,8	102,3	98,6	102,9	100,6	97,0	96,4	98,7
			9	10	11	12	13	14	15	16
16.1.2017	Provoz na výkonu – $P=217$ MW, $Q=31,7$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹	L_{pA}	87,0	85,9	91,8	92,5	90,9	90,7	84,8	88,2
		L_p	94,1	96,1	102,1	101,1	98,5	103,8	96,9	104,4
27.5.2017	$P=242$ MW, $Q=2$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $U_G=15140$ V, $I_G=9280$ A, $U_E=235$ V, $I_E=1808$ A	L_{pA}	88,5	84,9	92,6	93,0	91,3	91,5	84,5	86,0
		L_p	101,1	93,9	104,4	101,4	98,9	103,7	94,9	100,1
14.7.2017	$P=246,4$ MW, $Q=32$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $I_E=1770$ A	L_{pA}	85,0	83,5	89,9	92,2	90,5	89,6	82,6	86,7
		L_p	102,4	93,7	99,4	99,7	98,8	101,3	95,8	104,5
3.5.2018	$P=238,8$ MW, $Q=48,7$ MVA, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,97$, $U_G=15930$ V, $I_G=8820$ A, $U_E=264$ V, $I_E=2010$ A	L_{pA}	85,3	84,5	90,7	91,7	90,2	89,5	84,0	87,1
		L_p	98,5	94,7	100,2	99,6	97,3	101,4	96,3	104,6

Tab. 1: Naměřené hladiny akustického tlaku u generátoru turbosoustrojů TG11, $d = 0,3$ m

..... pokračování na dalším listu



Datum měření	TG11 – provozní stav		Hladiny akustického tlaku v měřicích místech, [dB]							
			17	18	19	20	21	22	23	24
18.1.2017	Provoz na výkonu – $P=217$ MW, $Q=31,7$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹	L_{pA}	88,5	88,4	87,4	85,3	86,1	86,5	91,8	95,3
		L_p	104,7	101,7	101,1	100,8	99,8	96,0	102,1	104,0
27.5.2017	$P=242$ MW, $Q=2$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $U_0=15140$ V, $I_0=9280$ A, $U_k=235$ V, $I_k=1808$ A	L_{pA}	85,3	85,0	87,6	86,2	84,4	86,1	90,6	93,9
		L_p	98,6	98,0	100,1	98,7	96,7	96,0	100,5	102,8
14.7.2017	$P=246,4$ MW, $Q=32$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $I_k=1770$ A	L_{pA}	84,2	82,5	83,6	83,6	82,6	84,8	90,6	92,0
		L_p	100,6	96,4	95,3	96,0	97,3	97,7	98,9	99,2
3.5.2018	$P=238,8$ MW, $Q=48,7$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,97$, $U_0=15930$ V, $I_0=8820$ A, $U_k=284$ V, $I_k=2010$ A	L_{pA}	87,5	85,2	85,3	84,7	85,3	86,7	91,6	95,4
		L_p	104,0	101,0	99,4	98,1	100,7	99,2	101,6	105,3
			25	26	27	28	29	30	31	32
18.1.2017	Provoz na výkonu – $P=217$ MW, $Q=31,7$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹	L_{pA}	-	-	-	-	-	-	-	-
		L_p	-	-	-	-	-	-	-	-
27.5.2017	$P=242$ MW, $Q=2$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $U_0=15140$ V, $I_0=9280$ A, $U_k=235$ V, $I_k=1808$ A	L_{pA}	88,1	89,5	89,0	89,0	89,4	88,9	86,5	86,6
		L_p	97,1	97,9	99,2	100,0	96,9	98,2	102,2	102,6
14.7.2017	$P=246,4$ MW, $Q=32$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,99$, $I_k=1770$ A	L_{pA}	-	-	-	-	-	-	-	-
		L_p	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5.2018	$P=238,8$ MW, $Q=48,7$ MVar, $n=3000$ min ⁻¹ , $\cos\varphi=0,97$, $U_0=15930$ V, $I_0=8820$ A, $U_k=284$ V, $I_k=2010$ A	L_{pA}	86,8	86,6	87,4	86,8	87,5	86,2	86,5	87,4
		L_p	98,7	99,0	98,8	95,9	96,6	100,1	103,9	105,7

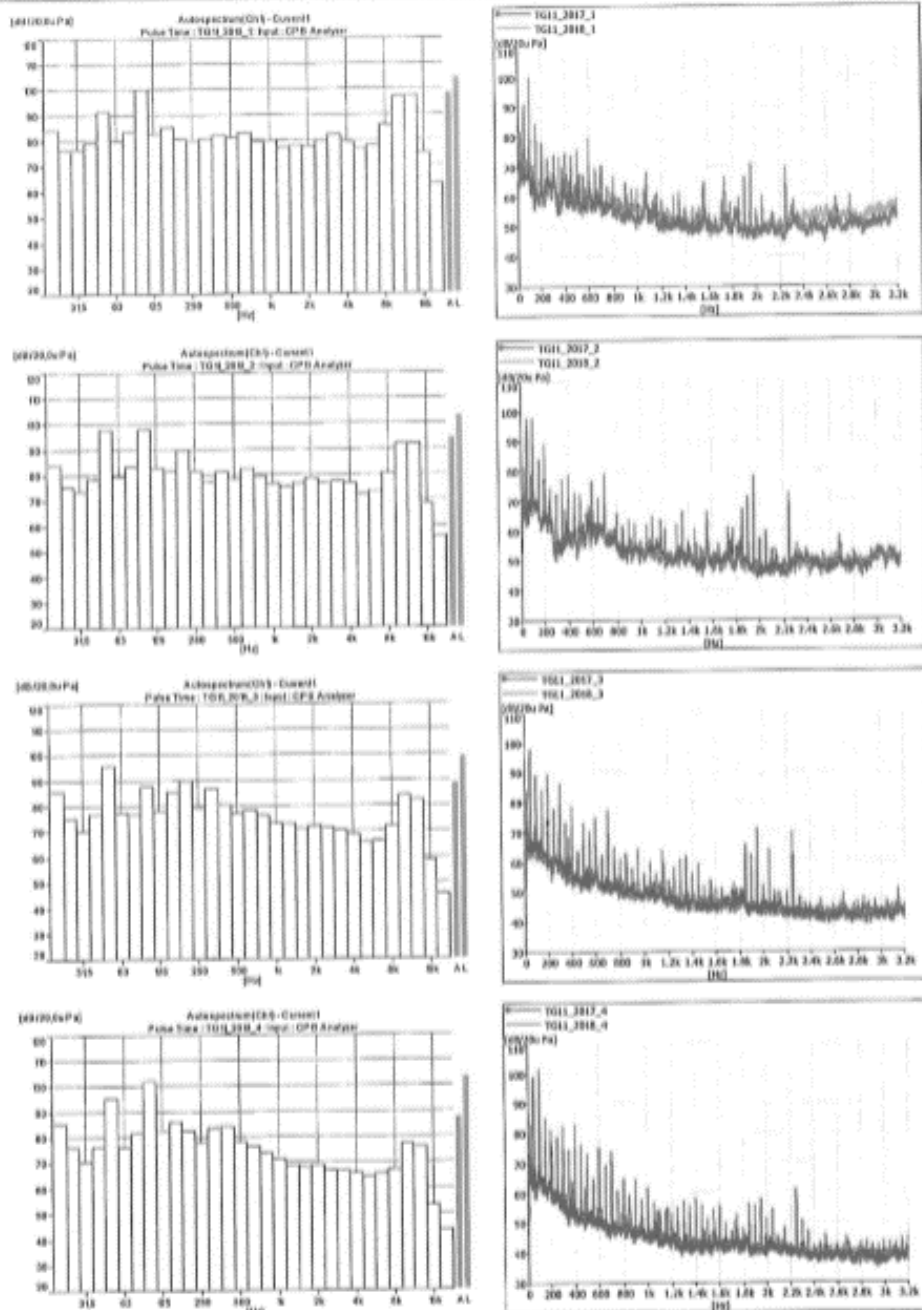
Tab. 1: Naměřené hladiny akustického tlaku u generátoru turbosoustroj TG11, $d = 0,3$ m – pokračování

Hladiny akustického tlaku A kolem generátoru TG11 ve vzdálenosti $d = 0,3$ m od zařízení jsou $L_{pA} = (84,0 \div 97,9)$ dB a hladiny akustického tlaku $L_p = (94,7 \div 105,7)$ dB pro výkonovou hladinu $P = 239$ MW. Při předchozím garančním měření TG11 provedeného dne 27. 5. 2017 v měřicích místech okolo generátoru byly hladiny $L_{pA} = (84,4 \div 95,2)$ dB a $L_p = (93,9 \div 104,4)$ dB. Měření provedena v lednu a červenci roku 2017 byla doplňková, při kterých nebyl měřen hluk v místech 25 a 32.

Střední hladiny akustického tlaku při předchozím diagnostickém měření (ze dne 27. 5. 2017) byly $\overline{L_{pA}} = 89,3$ dB a $\overline{L_p} = 99,9$ dB a při aktuálním diagnostickém měření (dne 3. 5. 2018) jsou $\overline{L_{pA}} = 89,5$ dB a $\overline{L_p} = 101,1$ dB. Oproti předchozímu měření je střední vážená hladina akustického tlaku A přibližně totožná, $\Delta L = 0,2$ dB a u střední hladiny akustického tlaku došlo k nepatrnému zvýšení o $\Delta L = 1,2$ dB.

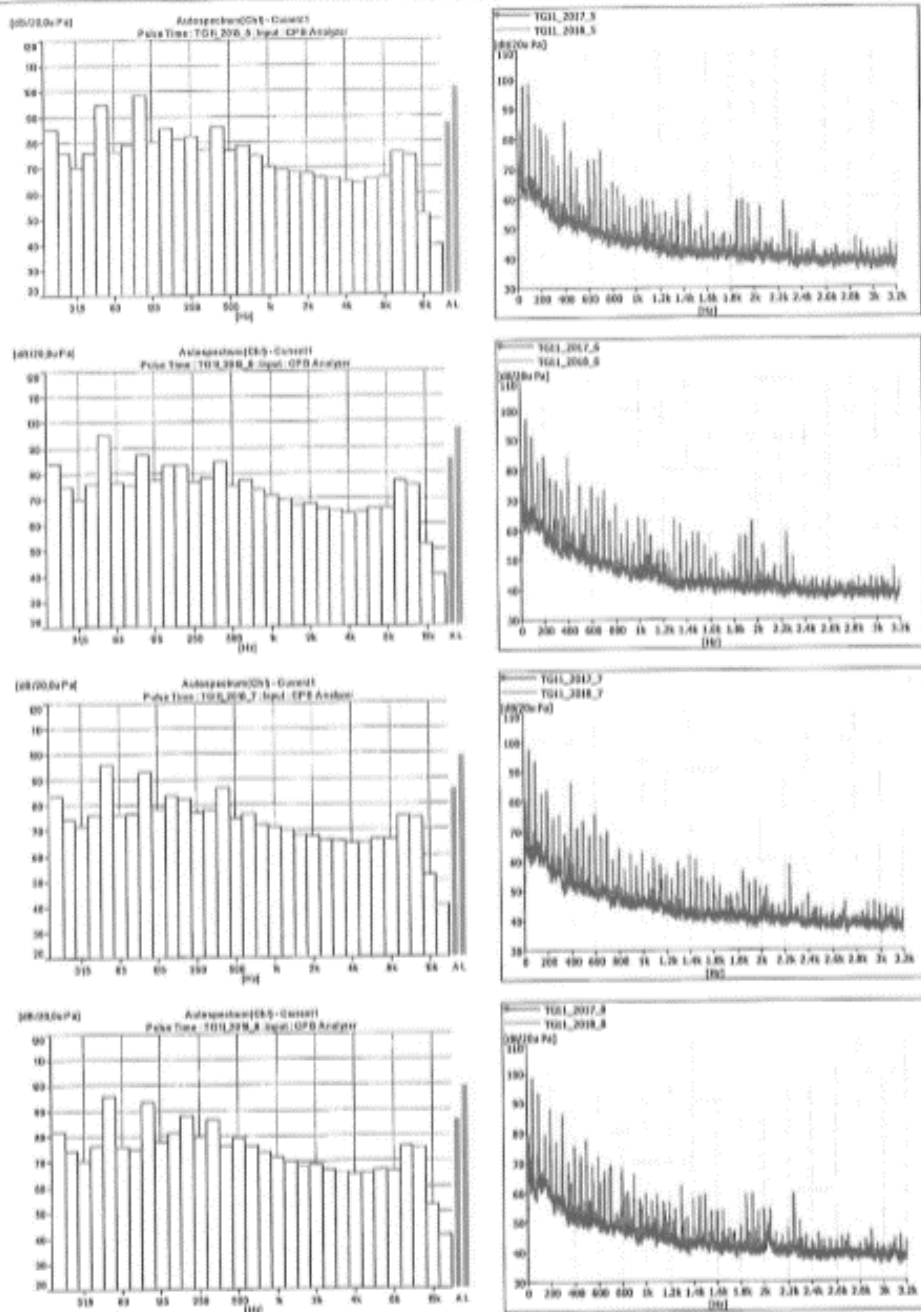
Naměřená třetinooktávová a podrobnější úzkopásmová FFT spektra hladin akustického tlaku pro jednotlivá měřicí místa 1 + 32 jsou uvedena na obrázcích Obr. (2 + 9), kde úzkopásmová spektra jsou ve frekvenčním rozsahu $f = (0 \div 3200)$ Hz s šířkou pásma $\Delta f = 1$ Hz. V obrázcích jsou znázorněna spektra akustického tlaku při předchozím diagnostickém měření (ze dne 27. 5. 2017), červeně pak z aktuálního diagnostického měření provedeného dne 3. 5. 2018.

..... pokračování na dalším listu



Obr. 2: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW - místo 1 + 4

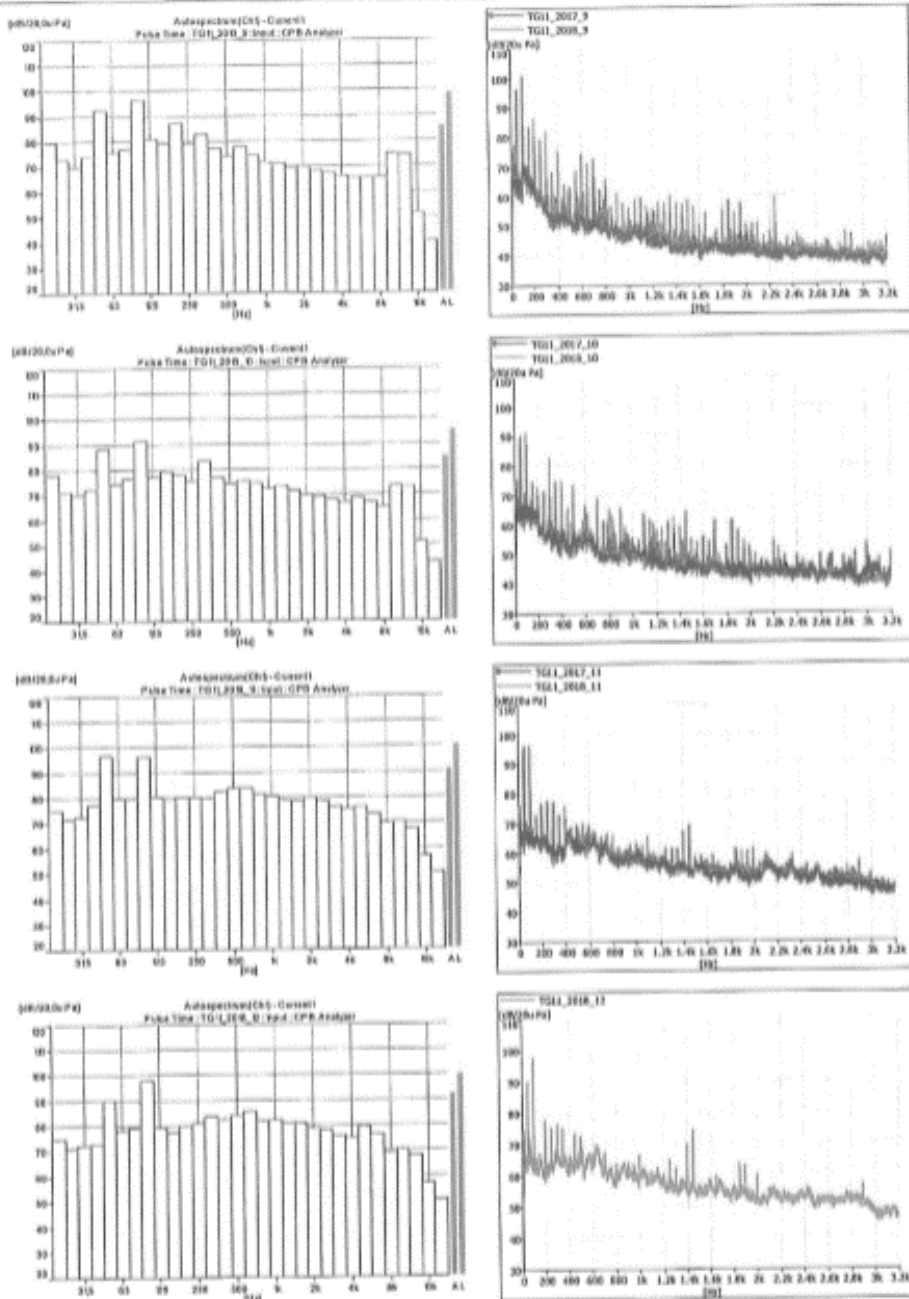
pokračování na dalším listu



Obr. 3: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW - místo 5 + 8

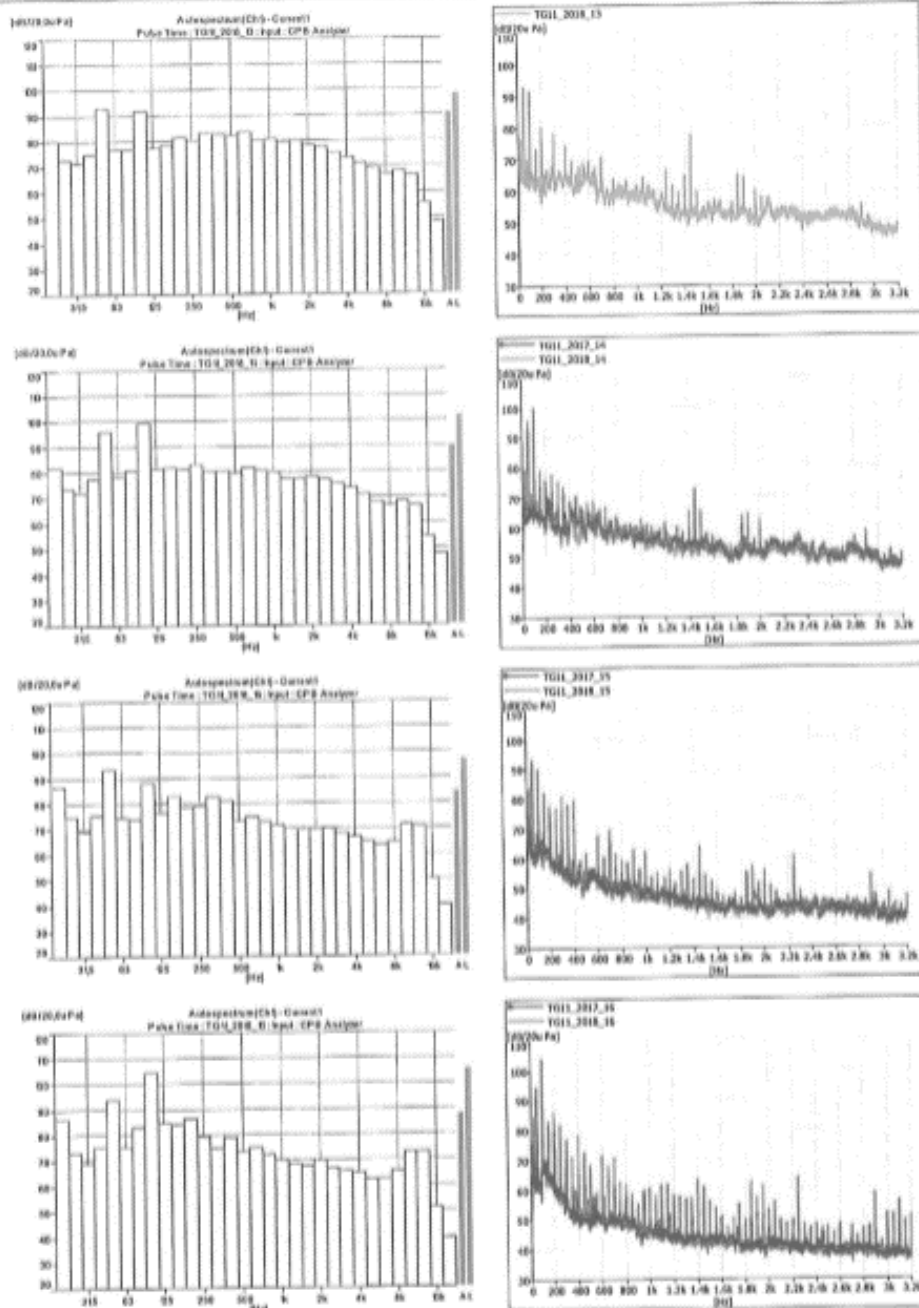
..... pokračování na dalším listu





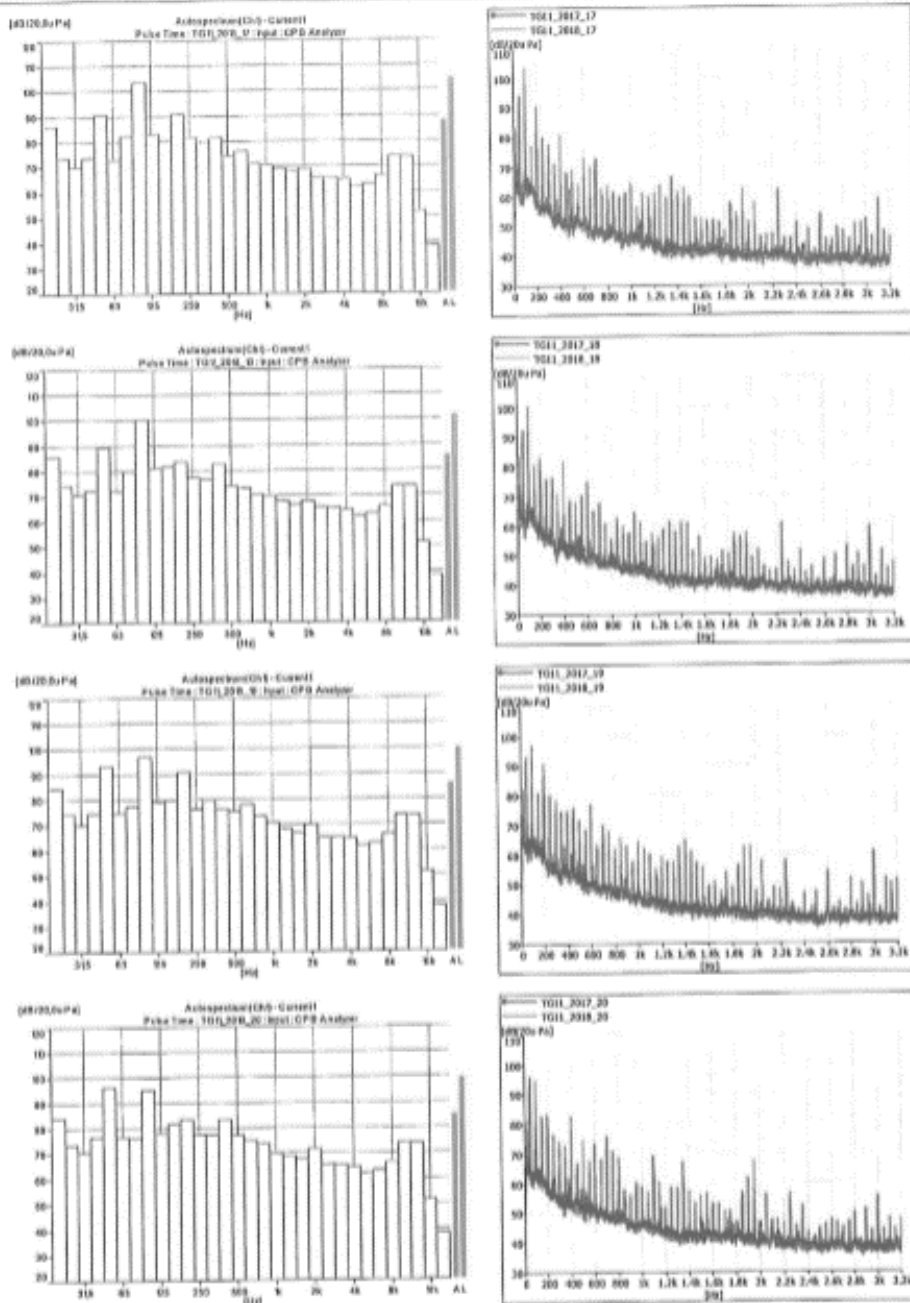
Obr. 4: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW - místo 9 + 12

pokračování na dalším listu



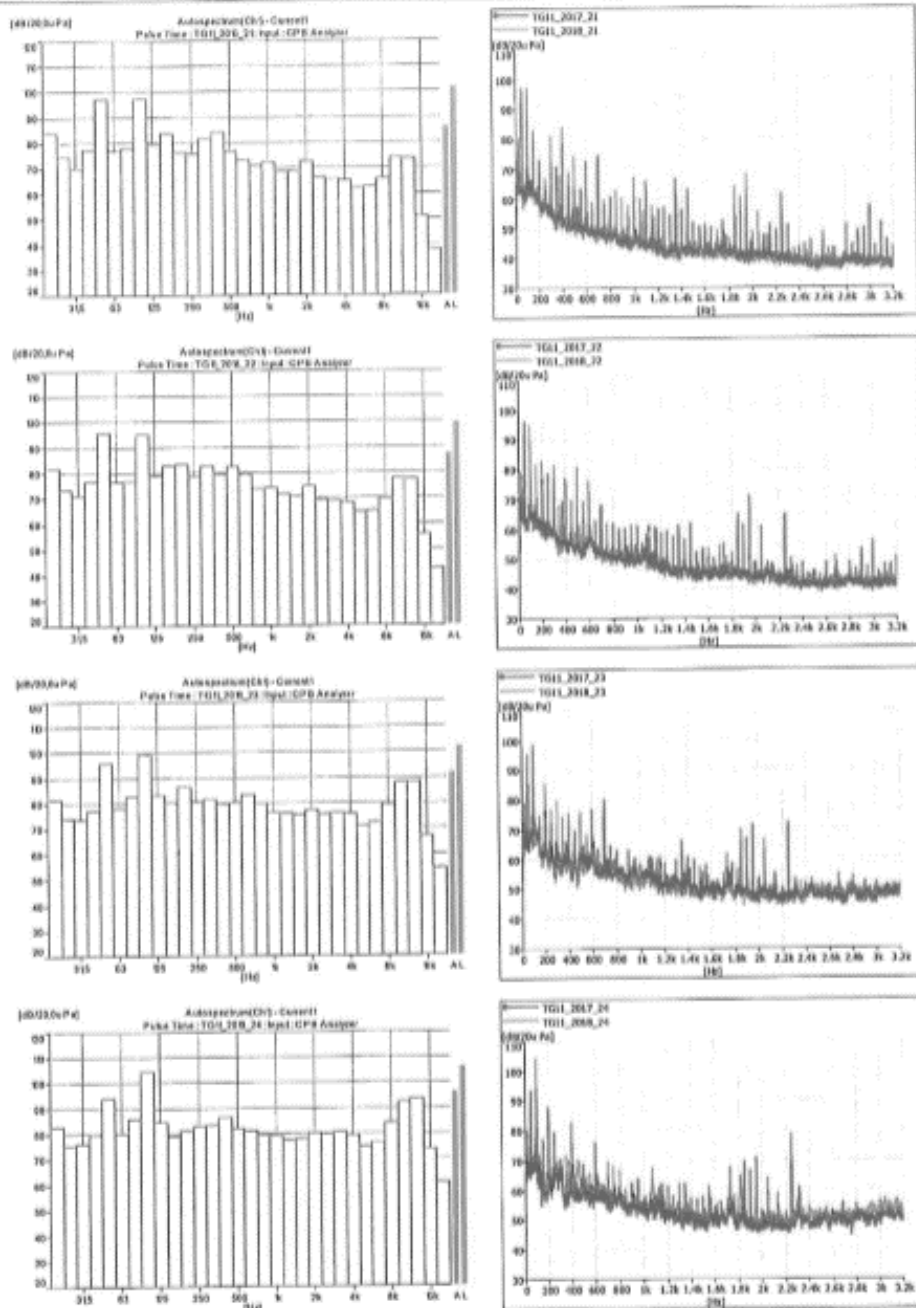
Obr. 5: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW - místo 13 + 16

... pokračování na dalším listu



Obr. 6: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW - místo 17 + 20

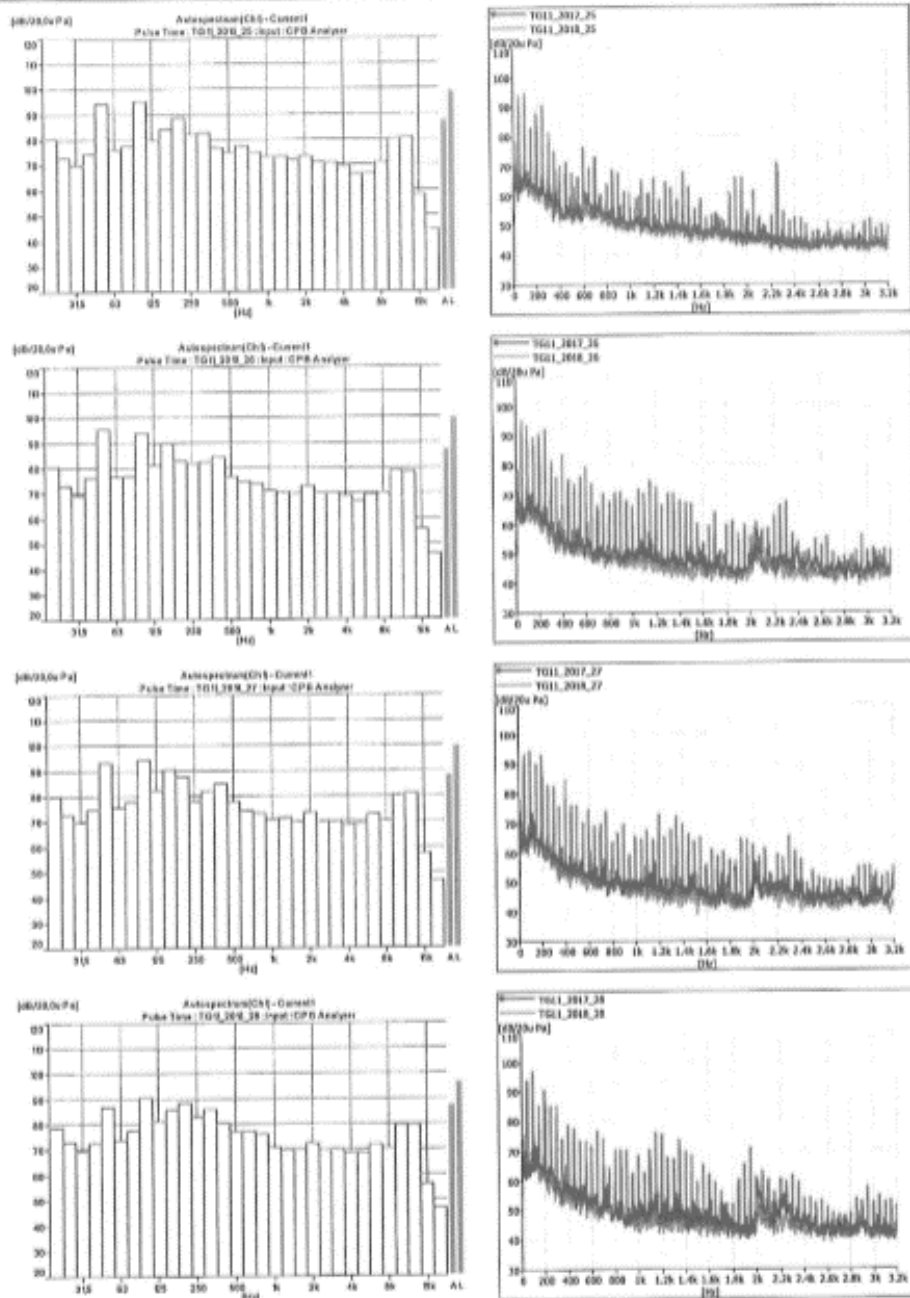
pokračování na dalším listu



Obr. 7: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW - místo 21 + 24

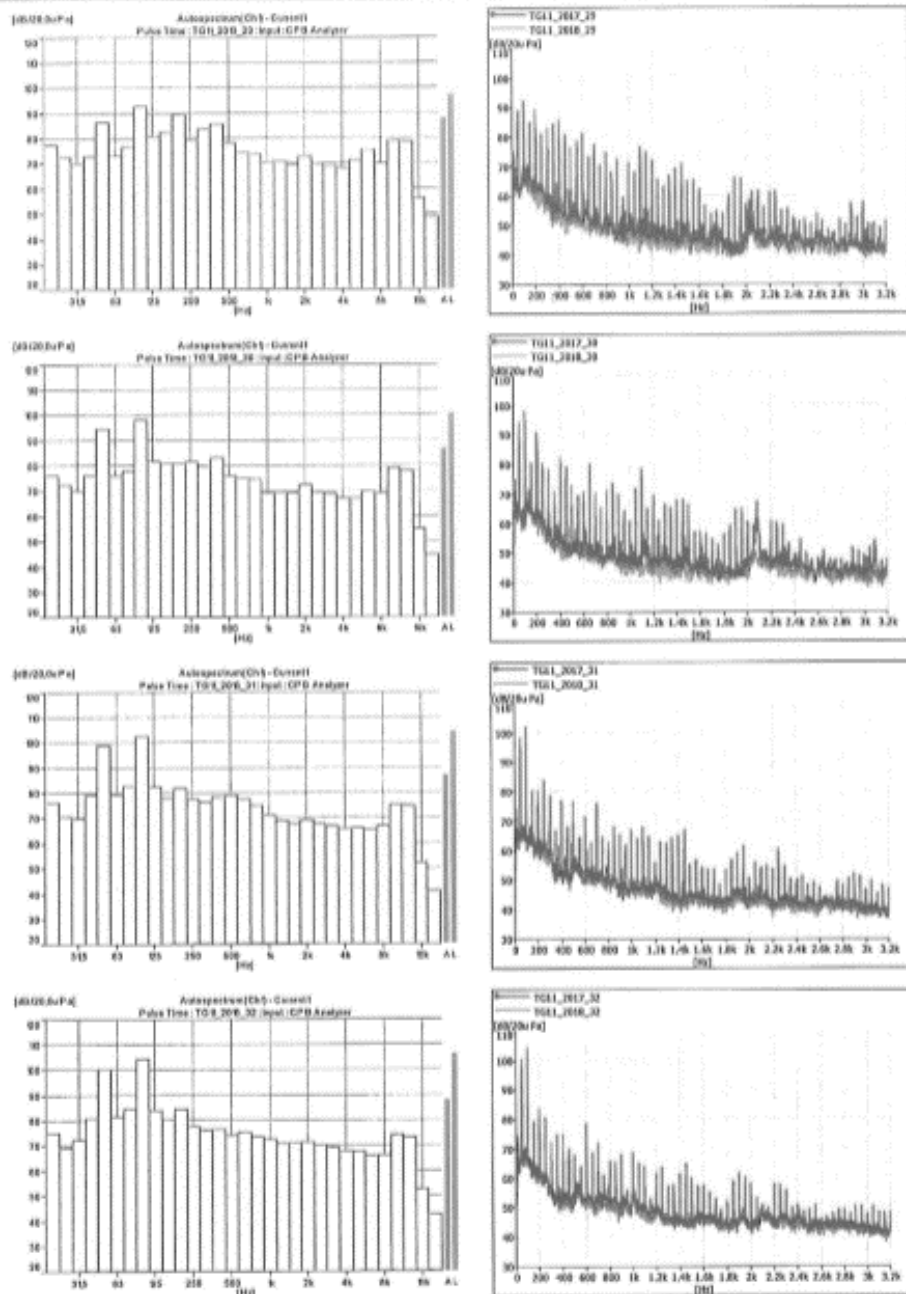
pokračování na dalším listu





Obr. 8: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240 \text{ MW}$ - místo 25 + 28

pokračování na dalším listu



Obr. 9: Spektra akustického tlaku při výkonu $P = 240$ MW - místo 29 + 32

..... pokračování na dalším listu



Zkušební laboratoř č. 1047 akreditovaná ČIA
podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Protokol o zkoušce

č.: VYZ-1856Z-0006-01A

6. Nejistota měření

Nejistota měřicího řetězce je $\pm 1,5$ dB. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %.

7. Odborné stanovisko / Interpretace

Hladiny akustického tlaku A kolem generátoru TG11 (1SP10) ve vzdálenosti $d = 0,3$ m od zařízení jsou $L_{pA} = (84,0 \pm 97,9)$ dB a hladiny akustického tlaku $L_p = (84,7 \pm 105,7)$ dB pro výkonovou hladinu $P = 239$ MW. Při předchozím garančním měření TG11 provedeného dne 27. 5. 2017 v měřicích místech okolo generátoru byly hladiny $L_{pA} = (84,4 \pm 95,2)$ dB a $L_p = (93,9 \pm 104,4)$ dB.

Střední hladiny akustického tlaku při předchozím měření (ze dne 27. 5. 2017) byly $\overline{L_{pA}} = 89,3$ dB a $\overline{L_p} = 99,9$ dB, při aktuálním diagnostickém měření (dne 3. 5. 2018) jsou $\overline{L_{pA}} = 89,5$ dB a $\overline{L_p} = 101,1$ dB. Oproti předchozímu měření je střední vážená hladina akustického tlaku A přibližně totožná, $\Delta L = 0,2$ dB a u střední hladiny akustického tlaku došlo k nepatrnému zvýšení o $\Delta L = 1,2$ dB.

V úzkopásmových FFT spektrech hluku se vyskytuje velké množství výrazných harmonických složek základní frekvence $f = 50$ a 100 Hz. Charakter spektru je obdobný při obou diagnostických měřeních s významnými hladinami akustického tlaku i na vyšších frekvencích. V místech nad generátorem (místa 25 + 32) je patrný pokles úrovně jednotlivých harmonických složek.

Naopak jsou zaznamenány vyšší úrovně harmonických složek na pravé straně při pohledu od turbíny v místech 3 + 9. Vzhledem k nepatrnému rozdílu středních hladin akustického tlaku může toto zvýšení úrovně akustického tlaku souviset se změnou jalového proudu a buzení, která v průběhu měření proběhla.

Doporučujeme po nabeti zařízení a ustálení provozních parametrů provést na provozním výkonu opakovaně doplňující diagnostické měření hluku za účelem srovnání hlučnosti u tohoto stroje při konstantním buzení.

Plzeň 30. 5. 2018

Ing. Miroslav Chmelíček
vedoucí Zkušebny Hluk a vibrace



koniec protokolu



List 12/12